

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXV.

TABLE

P. H. F. S. K.

PHYSIC AND CHEMIE

1820

PHYSIC AND CHEMIE

ANNALEN

DER

P H Y S I K

UND

C H E M I E.

VIERTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

FÜNF UND ZWANZIGSTER BAND.

NEBST ACHT FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1862.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH,





ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

VIERTER THEIL

HERAUSGEGEBEN VON HERMANN

VON

J. C. POGGENDORFF

FÜNF UND ZWÄNZIGSTER BAND

LEIPZIG 1872

LEIPZIG 1872

VERLAG VON JOHANN AMBROSIO NEUBAUER

ANNALEN



DER

P H Y S I K

UND

C H E M I E.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT UND FÜNFZEHNTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND EIN UND NEUNZIGSTER.

NEBST ACHT FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1862.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.



ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE

HERAUSGEGEBEN VON HERMANN

VON

J. C. BOGENDORF

HUNDERT UND FÖNFERTIGSTER BAND

DER GANZEN FÖRHE WISSENSCHAFT UND IHRER ANWENDUNG

VERLAG VON J. C. BOGENDORF

LEIPZIG, 1872

VERLAG VON J. C. BOGENDORF

Inhalt

des Bandes CXV der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

	Seite
I. Ueber die Wärmeleitung gasförmiger Körper; von R. Clausius	1
II. Maafsbestimmungen der elektromotorischen Kräfte; von W. Hankel	57
III. Ueber das phosphorische Leuchten des Fleisches; von Demselben	62
IV. Ueber die durch Temperaturverschiedenheit sich berührender Körper verursachten Töne; von C. Sondhaufs	71
V. Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut; von H. Aubert	87
VI. Ueber einen neuen Apparat zur Darstellung von Schwingungscurven; von F. Melde	117
VII. Beiträge zum Studium der Salpeterbildungen; von F. Goppelsröder	125
VIII. Ueber die Farbe des Wassers; von W. Beetz	137

VI

Seite

IX. Ueber die näheren Bestandtheile des Meteoreisens; die Nadeln, die Eisenkugeln, der Mohr; von Freiherrn v. Reichenbach	148
X. Das Typoskop; von H. Emsmann	157
XI. Ueber die Wirkung plötzlicher bedeutender Temperaturverän- derungen auf die Pflanzenwelt; von H. Karsten	159
XII. Ueber dem Ammoniaktypus angehörige organische Säuren; von W. Heintz	165
XIII. Der große intermittirende Wassersprudel zu Bad Neuenahr an der Ahr; von Nöggerath	169
XIV. Ueber einen zu Dhurmsalla in Indien gefundenen Aërolithen; von Ch. Jackson	175
XV. Zusammenhang zwischen Erdbeben und magnetischen Störungen; von J. Lamont	176

(Geschlossen am 29. Januar 1862.)

Zweites Stück.

I. Ueber die durch Temperaturverschiedenheit sich berührender Kör- per verursachten Töne; von C. Sordhaufs (Schluß)	177
II. Ueber die Gesetze des Magnetismus in Elektromagneten bezüg- lich einiger von G. Wiedemann erhobener Bedenken; von J. Dub	198
III. Beitrag zur chemischen Analyse durch Spectralbeobachtungen; von R. Th. Simmler	242
IV. Ueber die Diathermansie der Medien des Auges; von R. Franz	266
V. Ueber die Diglycolsäure (Para-Aepfelsäure); von W. Heintz .	280
VI. Ueber den Einfluß des atmosphärischen Drucks auf einige Ver- brennungserscheinungen; von E. Frankland	296
VII. Ueber eine eigenthümliche Stromtheilung bei Entladung der Leidener Batterie; von W. Feddersen	336

VII

	Seite
VIII. Zur Kenntniß des Verwesungsprocesses; von H. Karsten. . .	343
IX. Resultate einer Untersuchung über die Phosphorescenz verdünnter Gase; von Morrem	350
(Geschlossen am 4. März 1862.)	

Drittes Stück.

I. Ueber den Einfluß der Temperatur auf die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle; von A. Matthiessen und M. v. Bose . .	353
II. Ueber die Volumcurven der gesättigten Salzlösungen; von P. Kremers	397
III. Beiträge zur chemischen Analyse durch Spectralbeobachtungen; von R. Th. Simmler (Schluß)	425
IV. Ueber die Diglycolsäure (Para-Aepfelsäure); von VV. Heintz (Schluß)	452
V. Mineralogische Mittheilungen; von G. vom Rath	466
VI. Ueber das selensaure Nickeloxydul mit fünf Atomen Wasser; von Demselben	487
VII. Ueber ein neues Verfahren, Farbstoffe in ihren Gemischen zu erkennen; von F. Goppelsröder	487
VIII. Chemisch-analytische Beiträge; von H. Rose	494
IX. Ueber eine auf Allotropie begründete verschiedenfarbige kiesel-saure Bleiverbindung (Bleifluß); von C. Elsner	508
(Geschlossen am 4. April 1862.)	

Viertes Stück.

I. Der Rückstand der Leidener Batterie als Prüfungsmittel für die Art der Entladung; von A. v. Oettingen	513
II. Chemisch-analytische Beiträge; von H. Rose (Schluß) . . .	557

III. Ueber die Isomorphie der Sulfate von Kadmium, Didym und Yttrium; von C. Rammelsberg	579
IV. Ueber das jodsaure Natron-Chlornatrium; von Demselben	584
V. Vermischte Mittheilungen; von R. Th. Simmler	593
1. Versuch einer Erklärung der eigenthümlichen Beleuchtung bei Sonnenfinsternissen S. 593. 2. Ein Erythrophytoskop S. 599. 3. Einiges über die Fluorescenz und Absorptions-Erscheinungen beim Blattgrün S. 603. 4. Fluorescenz anderweitiger Flüssigkeiten S. 617. 5. Gallussäure im Bündner Rothwein 617. 6. Analysen einiger Kalksteine S. 618.	
VI. Ueber die näheren Bestandtheile des Meteoreisens; vom Freiherrn v. Reichenbach (Ueber das Schwefeleisen)	620
VII. Ueber die Ursache der blasigen Structur des Kupfers; von W. J. Russell und A. Matthiessen	637
VIII. Ueber eine neue kreisförmige Verwachsung des Augits; von G. Rose	643
IX. Ueber das Hörbarmachen von Beutönen durch Interferenz; von H. W. Dove	650
X. Vorläufige Notiz über Iodstickstoff; von C. Stahlschmidt	653
XI. Bemerkungen über den Pulshammer; von G. Scoppewer	654
XII. Fluorescenz der Wärme; von O. Dammer	658
XIII. Ueber einige merkwürdige Erscheinungen bei dem Gewitter vom 26. April 1862; von J. Schneider	659
(Geschlossen am 13. Mai 1862.)	

Nachweis zu den Kupfertafeln.

- Taf. I. — Sondhaufs Fig. 1 u. 2, S. 73; Fig. 3 u. 4, S. 74; Fig. 5, S. 75; Fig. 6, S. 76. — Aubert, Fig. 7, S. 89; Fig. 8 u. 9, S. 90, Fig. 10, S. 91; Fig. 11, S. 116. — Melde, Fig. 12, S. 119. — Beetz, Fig. 13 u. 14, S. 139.
- Taf. II. — Frankland, Fig. 1, S. 310; Fig. 2, S. 324. Feddersen, Fig. 3, S. 342. — Matthiessen, Fig. 4, S. 353; Fig. 5, S. 356; Fig. 6, S. 383.
- Taf. III. — Frankland, Fig. 1 u. 2, S. 320.
- Taf. IV. — G. vom Rath, Fig. 1^a u. 1^b, S. 467; Fig. 2^a u. 2^b, S. 468; Fig. 3^a u. 3^b, S. 468; Fig. 4, S. 475; Fig. 5^a, 5^b u. 6, S. 478; Fig. 7, S. 480; Fig. 8, S. 485.
- Taf. V. — Goppelaaröder, S. 494.
- Taf. VI. — Kremers, Fig. 1, S. 410; Fig. 2 u. 3, S. 412 u. 413; Fig. 4, 5, 6, 7 S. 416 u. 417.
- Taf. VII. — Rammelsberg, Fig. 1 u. 2, S. 582; Fig. 3, S. 583. — Rammelsberg, Fig. 4, 5 u. 6, S. 585; Fig. 7, 8 u. 9, S. 588. — Simmler, Fig. 10, S. 600; Fig. 11, S. 606; Fig. 12, S. 612; Fig. 13, S. 616.
- Taf. VIII. — G. Rose, Fig. 1, S. 643; Fig. 2, S. 643; Fig. 3, S. 644; Fig. 4 bis 7, S. 646 u. 647; Fig. 8 u. 9, S. 643.
-

Berichtigungen.

Zum Aufsatz von F. Goppelsröder, Heft I.

- S. 128 Z. 2 v. o. statt: wässerigere Decoct lies: wässerige Decoct
 S. 128 Z. 4 v. u. statt: ozonische Substanzen lies: organische Substanzen
 S. 135 Z. 18 v. o. statt: Abwesenheit von Nitraten lies: Anwesenheit usw.

Zum Aufsatz von W. Beetz, Heft I.

- S. 139 Z. 1 v. u. statt: *Salmonia*, 3. Edit. p. 317 lies: *Bibl. univ.*
 Nov. 1832
 S. 140 Z. 2 v. u. statt: Dr. Klenger lies: Dr. Klinger

Zum Aufsatz von J. Dub, Heft II.

- S. 212 Z. 2 v. u. statt: Einwirkungen lies: Entwicklungen

Zum Aufsatz von F. Goppelsröder, Heft III.

- S. 489 Z. 6 v. o. statt: weiteres VVandern lies: weiter wandern
 S. 489 Z. 10 v. o. statt: sehr ein lies: sehr leicht ein
 S. 489 Z. 11 v. o. statt: wie man die lies: wenn man die
 S. 489 Z. 16 v. o. statt: Schicht erhält lies: Schicht enthält
 S. 489 Z. 11 v. u. statt: Fließpapier lies: Filtrirpapier
 S. 490 Z. 3 v. u. statt: rothe Fuchsin lies: rohe Fuchsin
 S. 491 Z. 3 v. o. statt: rothe Fuchsin lies: rohe Fuchsin
 S. 491 Z. 8 v. u. statt: rothen Fuchsin lies: rohen Fuchsin
 S. 491 Z. 16 v. u. statt: keinem Chemiker lies: keinen Chemiker
 S. 492 Z. 11 v. o. statt: gefärbt lies: gefärbte
 S. 492 Z. 13 v. o. statt: gefärbte lies: gefärbte Schichten
 S. 493 Z. 9 v. u. statt: blos um wiederum in die lies: um wiederum
 einen Papierstreifen in die
-

DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXV.

**I. Ueber die Wärmeleitung gasförmiger Körper;
von R. Clausius.**

Im CVIII. Bande dieser Annalen S. 153 befindet sich ein Aufsatz von Hrn. Jochmann, in welchem gegen die Hypothese, daß in gasförmigen Körpern die Moleculé in stets wechselnden fortschreitenden Bewegungen begriffen sind, mehrere Einwände gemacht werden.

Hr. Jochmann sagt in der Einleitung, er komme einer Aufforderung von meiner Seite nach, indem er auf diese Punkte näher eingehe. Ich habe ihm allerdings auf ein gütigst an mich gerichtetes Schreiben, in welchem er mir einige Bedenken gegen jene Hypothese aussprach, geantwortet, wenn er glaube, beweisende Gegengründe zu haben, so halte ich es für das Beste, wenn er sie veröffentliche; und in der That scheint mir der Gegenstand so wichtig zu seyn, daß eine möglichst vielseitige Discussion desselben im Interesse der Wissenschaft liegt. Ich selbst habe meine Ansichten über den Molecularzustand fester, flüssiger und gasförmiger Körper und über den Uebergang aus dem einen Zustande in den anderen nur als Hypothesen ausgesprochen, und habe aus diesem Grunde in allen meinen bisherigen Arbeiten über die mechanische Wärmetheorie die Schlüsse, welche nur auf gewissen Grundsätzen beruhen, die ich für unumstößlich halte, von denen, welche auf jenen Ansichten beruhen, sorgfältig getrennt. In diesem Sinne werde ich auch jede wirklich sichere Entscheidung über die Richtigkeit jener Ansichten, mag sie nun

im einen oder anderen Sinne ausfallen, mit Freuden begrüßen').

- 1) Es sey mir gestattet, bei dieser Gelegenheit über die erste Aufstellung jener Hypothese über den Molecularzustand der Gase einige Bemerkungen zu machen, welche hier wohl eine geeignete Stelle finden werden.

Als ich nach dem Erscheinen der Abhandlung von Krönig meine Ansichten über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen, veröffentlichte, führte ich an, daß die Idee von den molecularen Bewegungen in gasförmigen Körpern nach einer mir gemachten Mittheilung schon von Joule ausgesprochen sey, und Joule wiederum hat Hérath als ihm vorangehend erwähnt. Etwas später hat P. du Bois-Reymond darauf hingewiesen, daß schon Dan. Bernoulli in seiner *Hydrodynamica* dieselbe Ansicht ausgesprochen und bis zu einem gewissen Grade entwickelt hat. In neuester Zeit bin ich auf ein von Prevost herausgegebenes Buch aufmerksam gemacht (*Deux Traités de Physique mécanique, publiés par Pierre Prevost, Genève et Paris 1818*), welches zwei Abhandlungen enthält, eine von G. L. Le Sage, welche Prevost nach dessen Tode herausgegeben hat, und eine von Prevost selbst, in welcher die Ansichten von Le Sage weiter entwickelt sind. In diesen Abhandlungen findet sich ebenfalls die Idee ausgesprochen und behandelt, daß die Molecüle der Gase sich in fortschreitenden Bewegungen befinden, und wenn auch in Bezug auf die Entstehung und Erhaltung dieser Bewegungen manches darin vorkommt, was von meinen Ansichten sehr abweicht, so ist doch die Art, wie die Expansivkraft des Gases daraus erklärt wird, im Wesentlichen dieselbe.

Le Sage führt wiederum eine Reihe von Autoren an, welche schon vor ihm ähnliche Ideen gehabt haben, indem er auf S. 126 wörtlich sagt: *On trouve des vestiges de cette opinion sur la nature de l'air, et même de quelques autres fluides, dans divers auteurs qui m'ont précédé: Lucrèce, livre II, vers 111—140. Gassendi, dans la 1^{re} section de sa Physique, au milieu du 8^e chapitre du 4^e livre, et au commencement du 4^e chapitre du 6^e livre. Boyle, dans ses Nouvelles Expériences physico-mécaniques sur la force élastique de l'air et sur ses effets, ainsi que dans son Traité sur la fluidité et la dureté. Parent, dans l'Histoire de l'Académie des Sciences de Paris, pour 1708, à la suite des Variations observées dans la règle Mariotte sur la dilatation de l'air. Phoronomie de Herman, liv. II, chap. 6. Dan. Bernoulli, dans la 10^e section de son Hydrodynamique. Enfin Dan. et Jean Bernoulli, dans une des pièces qui ont eu part au prix de l'Acad. des Sc. de Paris, en 1746.*

Ich brauche wohl kaum zu bemerken, daß ich, als ich meine Abhandlung schrieb, von diesen früher vorhandenen Erklärungsversuchen

Ich muß aber gestehen, daß der Aufsatz von Jochmann meinen Erwartungen nicht entsprochen hat, indem ich darin nirgends strenge Beweise, sondern nur allgemein gehaltene, oder auf Analogien gestützte Betrachtungen gefunden habe, aus denen sich meiner Ansicht nach keine sicheren Schlüsse ziehen lassen. Ich beabsichtige zunächst auf einen Punkt einzugehen, welchen Jochmann angeführt hat, und welcher auch von anderen Seiten als besonders beweisend gegen jene Hypothese geltend gemacht ist, nämlich auf die *Wärmeleitung der Gase*, indem ich mir vorbehalte, auf andere Punkte später zurückzukommen. Dabei will ich aber vorläufig gleich bemerken, daß ich die übrigen von Jochmann erhobenen Einwände für ebenso wenig begründet halte, wie diesen einen.

In einem früheren Ansätze habe ich zur Widerlegung des Einwandes, daß bei einer so großen Beweglichkeit der Molecüle, wie ich sie annehme, zwei in Berührung gebrachte Gase sich sehr schnell mischen müßten, gezeigt, daß die einzelnen von den Molecülen zurückgelegten Wege nur außerordentlich kurz seyn können. In Bezug hierauf sagt Jochmann (S. 156): - Wenn man dadurch den Einwurf, der sich auf Vermengung der Gase bezieht, als widerlegt betrachten darf, so gilt dieß keineswegs von dem anderen, daß locale Temperaturverschiedenheiten in einer Gasmasse nicht möglich wären, sondern sehr schnell eine Ausgleichung der mittleren Geschwindigkeiten durch die ganze Gasmasse stattfinden müßte. Um die wesentliche Verschie-

des gasförmigen Zustandes nichts gewußt habe, ich würde es sonst gewiß nicht unterlassen haben, sie neben denjenigen von Krönig und Joule ebenfalls zu erwähnen. Bei der großen Anzahl von Autoren, die nun schon in dieser Beziehung citirt sind, und denen sich vielleicht noch andere anreihen lassen werden, die sich aber, wie ich vermute, obwohl ich die älteren nicht nachgelesen habe, zum Theil nur ziemlich unbestimmt geäußert haben mögen, würde es wohl schwer seyn, denjenigen mit Sicherheit anzugeben, dem die erste Aufstellung der Hypothese zuzuschreiben ist, und es wird sich wohl nur feststellen lassen, wieviel die einzelnen Autoren dazu beigetragen haben, die unbestimmte Idee zu einer annehmbaren physikalischen Theorie zu entwickeln.

denheit beider Punkte nachzuweisen, wählen wir, da die unregelmäßige Bewegung der Gasatome der Anschauung wenig zugänglich ist, ein einfaches Analogon. Man denke sich eine Reihe gleicher vollkommen elastischer Kugeln in gerader Linie in gleichen Abständen aufgestellt. Theilt man der ersten Kugel eine Geschwindigkeit mit, vermöge deren sie die zweite central stößt, so wird zwar, indem die Bewegung sich durch die ganze Reihe fortpflanzt, jede Kugel ihren Ort nur um soviel verändern, als der Abstand zweier Kugeln beträgt; die Geschwindigkeit, welche der ersten mitgetheilt wurde, wird sich aber durch die ganze Reihe ungefähr eben so schnell fortpflanzen, als ob die erste, ohne auf ein Hinderniß zu stoßen, sich weiter bewegt hätte.“

Jochmann betrachtet hier also nicht die Sache, wie sie ist, sondern umgeht die Schwierigkeit, mit der diese Betrachtung allerdings verbunden ist, dadurch, daß er einen sehr viel einfacheren Fall als Analogon zur Betrachtung auswählt. Dieser Fall ist aber von dem, den er vertreten soll, so gänzlich verschieden, daß man von dem einen auf den anderen durchaus nichts schliessen kann. Wenn man über diesen und andere verwandte Gegenstände wirklich sichere Schlüsse ziehen will, so darf man vor der etwas unbequemen Betrachtung der unregelmäßigen Bewegungen nicht zurückschrecken. Damit ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß man bei den Rechnungen um unnöthige Complicationen zu vermeiden, hier und da eine vereinfachende Annahme zu Hülfe ziehen kann, aber diese Annahmen dürfen jedenfalls nur von der Art seyn, daß man klar übersieht, daß sie auf das Resultat keinen Einfluß haben¹⁾.

1) Auch Hoppe hat in zwei Aufsätzen, von denen der letzte (diese Ann. Bd. CX, S 598) eine Erwiderung auf eine von mir veröffentlichte Note ist, denselben Einwurf im Wesentlichen mit denselben Gründen gemacht. Er sagt sogar S. 603 ausdrücklich: »die Fälle, wo zwei sich treffende Molecüle ungleich sind, oder sich nicht central stoßen, bedingen offenbar keine Aenderung in der Gesamtwirkung.« Das Wort offenbar scheint mir hier sehr wenig am Platze zu seyn; im Gegentheile glaube ich, daß sich die Unrichtigkeit des citirten Ausspruches im Folgenden deutlich ergeben wird. Die übrigen in der Erwiderung von

Im *Philosophical Magazine* vom vorigen Jahre ¹⁾ befindet sich eine interessante Abhandlung von Maxwell: „*Illustrations of the Dynamical Theory of Gases*,“ in welcher auch die Frage der Wärmeleitung behandelt ist. In dieser Abhandlung, welche sich durch ihre eleganten mathematischen Entwicklungen auszeichnet, ist die Bewegung kleiner Körper unter sehr allgemeinen Gesichtspunkten betrachtet, und es sind darin manche werthvolle Resultate gewonnen; indessen halte ich den Inhalt nicht in allen Punkten für richtig. Insbesondere glaube ich, daß der Verfasser die Wärmeleitung zu unvollständig behandelt hat, und wenn auch seine Formel für die Stärke der Wärmeleitung von derjenigen, die wir finden werden, nur wenig abweicht, so kommen im Uebrigen doch bedeutende Verschiedenheiten vor, auf welche ich an den betreffenden Stellen aufmerksam machen werde, und welche die angenäherte Uebereinstimmung der Schlufsformel nur als Zufälligkeit erscheinen lassen.

Da die Wärmeleitung eine Erscheinung von allgemeiner Wichtigkeit ist, und der Vorgang auf welchem sie beruht, bis jetzt noch wenig erforscht ist, so glaube ich, daß es gerechtfertigt erscheinen wird, wenn ich im Folgenden diesen Vorgang und den ganzen dabei stattfindenden Zustand des Gases unter Zugrundelegung der bisher von mir verfochtenen Hypothese über die Molecularbewegungen gasförmiger Körper einer näheren mathematischen Betrachtung unterwerfe, und versuche dadurch die Gesetze der Wärmeleitung in Gasen abzuleiten. Dabei glaube ich darauf aufmerksam machen zu dürfen, daß dieselben Principien, welche bei dieser Untersuchung zur Sprache kommen werden, mit gewissen Modificationen auch in vielen andern Fällen Anwendung finden können, wo es sich darum handelt, die inneren Vorgänge in einer Gasmasse zu bestimmen, und daß

Hoppe vorkommenden Bemerkungen überlasse ich der Beurtheilung der Leser, indem ich das wissenschaftliche Publikum nicht mit einem bloßen Wortstreite belästigen mag.

1) *Vol. XIX*, p. 19 und *Vol. XX*, p. 21.

insofern die nachfolgende Auseinandersetzung eine über die zunächst gestellte Aufgabe hinausgehende allgemeinere Bedeutung beanspruchen darf.

1. Feststellung des zu betrachtenden Falles.

§. 1. Wir denken uns eine Gasmenge zwischen zwei unendlich großen einander parallelen ebenen Wänden, von denen jede auf einer constanten Temperatur erhalten wird. Wenn die Temperatur der einen Wand höher ist, als die der anderen, so wird vermittelt des Gases eine Wärmeleitung von der einen Wand zur anderen stattfinden, indem fortwährend Wärme von der wärmeren Wand in das Gas übergeht, dann innerhalb desselben von Schicht zu Schicht fortgepflanzt, und endlich vom Gase wieder an die kältere Wand abgegeben wird. Da wir hier nur diejenige Wärmebewegung betrachten wollen, welche durch Leitung stattfindet, und nicht die, welche durch Strömungen veranlaßt werden kann, die im Gase dadurch entstehen, daß die wärmeren Theile des Gases specifisch leichter sind, als die kälteren, und daher jene nach oben und diese nach unten zu strömen suchen, so wollen wir von der Wirkung der Schwere ganz absehen, was angenähert dem Falle entspricht, wo die beiden begrenzenden Wände horizontal sind, und die wärmere oben ist, weil in diesem Falle ebenfalls keine Strömungen entstehen.

Wenn die beiden Wände längere Zeit auf constanter Temperatur erhalten werden, so tritt zuletzt in dem Gase ein stationärer Zustand ein, bei dem die Temperatur an jeder Stelle unveränderlich, aber an verschiedenen Stellen verschieden ist, und zwar in der Weise, daß in jeder den begrenzenden Wänden parallelen Ebene die Temperatur überall gleich ist, dagegen in der Richtung von der wärmeren Wand zur kälteren die Temperatur nach einem bestimmten Gesetze stetig abnimmt. Zugleich findet dann durch das Gas hindurch ein Wärmestrom von bestimmter unveränderlicher Stärke statt.

Diesen stationären Zustand des Gases wollen wir nun betrachten und den dabei stattfindenden Wärmestrom, welcher durch die Wärmeleitung des Gases verursacht wird, zu bestimmen suchen.

§. 2. Wir denken uns zwischen den beiden Wänden eine auf ihnen senkrecht stehende Gerade gezogen, und nehmen diese als Abscissenaxe, dann ist die Temperatur innerhalb des Gases eine Function der Abscisse x , und wenn wir, um gleich eine bestimmte Anschauung zu gewinnen, voraussetzen, daß die erste Wand, wo die Abscisse ihren kleinsten Werth hat, die wärmere sey, so nimmt die Temperatur innerhalb des Gases mit wachsendem x ab. Die Dichtigkeit des Gases verhält sich umgekehrt, indem für den Gleichgewichtszustand die Dichtigkeit um so größer seyn muß, je niedriger die Temperatur ist; sie ist also eine Function von x , welche mit wachsendem x zunimmt.

Wir setzen nun voraus, daß die Gasmolecüle nach allen Richtungen unregelmäßig durcheinander fliegen, und dabei bald hier bald dort zusammenstoßen und von einander abprallen; und daß ferner die Bewegungsgeschwindigkeit um so größer ist, je höher die Temperatur ist. Denken wir uns nun durch den mit Gas gefüllten Raum eine den begrenzenden Wänden parallele Ebene gelegt, so gehen durch diese während der Zeiteinheit eine große Anzahl von Moleculen von der negativen zur positiven Seite, und umgekehrt. Die Molecüle, welche von der negativen zur positiven Seite gehen, haben im Allgemeinen eine größere Geschwindigkeit, als die, welche von der positiven zur negativen Seite gehen, weil an der negativen Seite der Ebene unserer Annahme nach die Temperatur höher, und somit die Bewegungsgeschwindigkeit der Molecüle größer ist, als an der positiven. Die gesammte lebendige Kraft, welche während der Zeiteinheit im positiven Sinne durch die Ebene geht, ist demnach größer, als die, welche im negativen Sinne hindurchgeht, und wir behalten daher, wenn wir gleiche Mengen, welche im entgegengesetzten Sinne hindurchgehen, sich gegenseitig aufheben lassen, noch einen gewissen Ueber-

schufs an lebendiger Kraft, der im positiven Sinne hindurchgeht. Diese durch die Ebene gehende lebendige Kraft bildet, indem wir lebendige Kraft und Wärme als gleichbedeutend ansehen, den im vorigen §. erwähnten Wärmestrom, welchen wir Wärmeleitung nennen, und im Folgenden zu betrachten haben¹⁾).

II. Verhalten der von einer unendlich dünnen Schicht ausgesandten Molecüle.

§. 3. Wir wollen damit beginnen, die Art der Bewegungen der einzelnen Molecüle etwas näher zu betrachten.

Wir denken uns zwei auf der x -Axe senkrechte einander unendlich nahe parallele Ebenen gelegt, welche eine unendlich dünne Schicht einschliessen. Da diese Schicht fortwährend in allen Richtungen von Molecülen durchflogen wird, so muß es sich zuweilen treffen, daß zwei Molecüle innerhalb der Schicht zusammenstoßen, und dann wieder auseinanderprallen. Diese Molecüle, welche, nachdem sie durch den Zusammenstoß ihre früheren Bewegungen verloren haben, mit veränderten Bewegungen wieder aus der Schicht heraustreten, wollen wir kurz *die von der Schicht ausgesandten Molecüle* nennen, und deren Bewegungen wollen wir jetzt ins Auge fassen.

Diese Bewegungen sind unter einander sehr verschieden, und zwar müssen wir unter den vorkommenden Verschie-

- 1) Es wird dem Obigen nach bei der Leitung nur diejenige Wärme betrachtet, welche den Molecülen selbst innewohnt, und von einem Molecüle zum anderen nur durch Zusammenstoß übertragen wird. Ausserdem theilen sich die Molecüle noch dadurch Wärme mit, daß jedes Molecül Wärme ausstrahlt, welche sich durch den Aether fortpflanzt, und auf ihrem Wege von den anderen Molecülen nach und nach theilweise absorbiert wird. Diese Mittheilung kann man aber bei Stoffen von so geringer Ausstrahlung und Absorption, wie die Gase sind, wohl kaum mit zur Leitung rechnen, da sie bei den langen Wegen, welche die Wärmestrahlen durchlaufen können, ohne absorbiert zu werden, einen wesentlich anderen Charakter hat. Jedenfalls wird es erlaubt seyn, die eine Art von Wärmebewegung für sich allein zu betrachten, und wir wollen daher im Folgenden das Wort *Wärmeleitung* stets in diesem Sinne gebrauchen.

denheiten zwei Arten unterscheiden, welche durch zwei von einander unabhängige Ursachen veranlaßt werden, und daher auch getrennt betrachtet werden können. Die eine Art besteht aus jenen unregelmäßigen Verschiedenheiten, welche bei den Molecularbewegungen, die wir Wärme nennen, immer herrschen, und daher auch dann stattfinden würden, wenn das Gas überall gleiche Temperatur und Dichtigkeit hätte. Sie haben ihren Grund in mancherlei zufälligen Ungleichheiten, welche bei den einzelnen Zusammenstößen vorkommen, und wir wollen sie die *zufälligen* Verschiedenheiten nennen. Die andere Art von Verschiedenheiten ist dadurch bedingt, daß die Temperatur und Dichtigkeit des Gases nicht überall gleich ist. Diese Verschiedenheiten hängen in bestimmter Weise von den Gesetzen ab, denen die in dem Gase stattfindenden Temperatur- und Dichtigkeitsunterschiede unterworfen sind, und wir wollen sie daher die *gesetzmäßigen* Verschiedenheiten nennen.

Die letzteren sind es, welche bei der Wärmeleitung vorzugsweise in Betracht kommen, und auf sie wollen wir daher zunächst unsere Aufmerksamkeit richten.

Die Ursache ihrer Entstehung beruht im vorliegenden Falle darauf, daß von zwei Moleculen, welche in der Schicht zusammentreffen, wenn sie von verschiedenen Seiten in die Schicht eingetreten sind, im Allgemeinen das von der wärmeren Seite kommende Molecul eine größere Geschwindigkeit hat, als das von der kälteren Seite kommende. Die Größe dieses Unterschiedes hängt davon ab, wie weit die Stellen wo die betreffenden Molecul ihre Bewegungen begonnen haben, von der betrachteten Schicht entfernt sind, und da die Wege, welche die Molecul zwischen je zwei Zusammenstößen zurücklegen, im Allgemeinen nur sehr klein sind, so kann auch dieser Unterschied nur klein seyn, in der Weise, daß wir den Mittelwerth dieses Unterschiedes als eine Größe von derselben Ordnung, wie die mittlere Weglänge der Molecul betrachten können. Wir müssen nun festzustellen suchen, welchen Einfluß dieser *vor* den Stößen stattfindende Unterschied auf die Bewegungen *nach* den Stößen ausübt.

§. 4. Das Verhalten zweier Molecüle beim Zusammenstosse ist nicht in allen Beziehungen dasselbe, wie das zweier elastischer Kugeln, indessen kann man doch in vielen Beziehungen einen nützlichen Einblick in das Verhalten der Molecüle gewinnen, wenn man von der Betrachtung elastischer Kugeln ausgeht. Die gegenseitige Einwirkung zweier elastischer Kugeln beim Zusammenstosse ist in recht übersichtlicher Weise in der oben erwähnten Abhandlung von Maxwell zusammengestellt. Ich will hier nur einige Sätze, welche auch sonst als hinlänglich bekannt zu betrachten sind, anführen.

Wenn zwei gleiche elastische Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung fliegen, und zwar so dafs ihre Mittelpunkte sich in derselben Geraden bewegen, und die Kugeln daher central zusammenstossen, so prallen sie in der Weise von einander ab, dafs jede Kugel mit gleicher Geschwindigkeit nach der Richtung zurückfliegt, aus der sie gekommen ist. Bewegen sich die Kugeln aber vor dem Stosse zwar in entgegengesetzter Richtung, aber so, dafs die Wege ihrer Mittelpunkte nicht in derselben Geraden sondern in zwei parallelen Geraden liegen, und dafs folglich die Kugeln excentrisch zusammenstossen, so prallen sie zwar wieder mit gleichen Geschwindigkeiten auseinander, und die Centra bewegen sich wieder nach entgegengesetzten Seiten in zwei parallelen Geraden, aber die Richtung dieser Geraden ist nicht dieselbe, wie die Richtung derjenigen Geraden, in welchen sich die Centra vor dem Stosse bewegten. Die neue Richtung hängt von der Lage ab, welche der Punkt des Zusammentreffens in den beiden Oberflächen hat, und da die Kugeln in unendlich vielen verschiedenen Punkten ihrer Oberflächen zusammentreffen können, so findet auch in den Richtungen des Auseinanderprallens eine unendliche Mannichfaltigkeit statt, und es läfst sich leicht beweisen, dafs *jede mögliche Richtung im Raume für die Bewegungen der Kugeln nach dem Stosse gleich wahrscheinlich ist.*

Sey nun allgemein angenommen, die beiden gleichen

Kugeln bewegen sich vor dem Stosse mit beliebigen Geschwindigkeiten nach beliebigen Richtungen. Dann zerlegen wir uns die Bewegung jeder Kugel in zwei Componenten. Als erste Componente nehmen wir die Bewegung des gemeinsamen Schwerpunktes beider Kugeln, dann ist die zweite Componente die relative Bewegung der betreffenden Kugel gegen den gemeinsamen Schwerpunkt. Die erstere Bewegung ist für beide Kugeln gleich groß und gleich gerichtet, die letztere für beide Kugeln gleich groß und entgegengesetzt. Die erstere wird durch den Stoss nicht geändert; die letztere dagegen wird gerade in derselben Weise geändert, als ob sie allein vorhanden wäre, und die gemeinsame Bewegung gar nicht stattfände. In Bezug auf sie gilt dasselbe, was vorher von dem Falle gesagt wurde, wo zwei Kugeln sich in parallelen Geraden gegen einander bewegen und durch den Stoss je nach dem Punkte des Zusammentreffens verschiedene Richtungen annehmen können. Hieraus sieht man, in wie weit bei unregelmässig zusammenstossenden Kugeln die Bewegungen nach den Stößen von denen vor den Stößen abhängen, und in wie weit sie von ihnen unabhängig sind. *Die Bewegung jeder Kugel besteht aus zwei Componenten, von denen die erste nach Grösse und Richtung durch die Bewegungen vor dem Stosse vollständig bestimmt ist, und die zweite ebenfalls eine bestimmte Grösse hat, aber unendlich viele verschiedene Richtungen haben kann, und zwar so, dass jede Richtung im Raume gleich wahrscheinlich ist¹⁾.*

§. 5. Indem wir dieses Resultat auf die unter den Moleculen stattfindenden Zusammenstöße anwenden, können wir annehmen, dass auch hier von den Bewegungen, welche

- 1) Aus diesem Resultate sieht man recht deutlich, wie sehr man von der Wirklichkeit abweicht, wenn man, wie es Jochmann und Hoppe gethan haben, bei einer angenäherten Betrachtung nur den centralen Stoss berücksichtigt, indem man dadurch statt der unendlich vielen verschiedenen Richtungen, welche nach dem Stosse stattfinden können, nur eine bestimmte Richtung erhält, welche für die Fortpflanzung der lebendigen Kraft gerade besonders günstig ist.

zwei zusammenstossende Molecüle vor dem Stosse haben, nur der den beiden Molecülen gemeinsame Theil, nämlich die Bewegung des gemeinsamen Schwerpunktes, nach Grösse und Richtung ungeändert bleibt, während die zweite Componente der Bewegungen ihre Richtung in so verschiedenen Weisen ändern kann, dafs für sie jede Richtung im Raume gleich wahrscheinlich ist.

Betrachten wir nun die ganze Menge der Molecüle, welche während einer Zeiteinheit in der in §. 3 besprochenen unendlich dünnen Schicht zusammenstossen, so ist von den Bewegungen, welche dieselben vor den Stössen haben, schon in §. 3 die Rede gewesen. Es sind nämlich unter diesen Bewegungen alle möglichen Richtungen vertreten, aber die Molecüle, welche von der wärmeren Seite herkommen, haben im Allgemeinen etwas gröfsere Geschwindigkeiten, als die von der kälteren Seite kommenden. Da nach unserer Annahme die Temperatur mit wachsendem x abnimmt, so ist die wärmere Seite die negative d. h. die, wo x kleinere Werthe hat, als in der Schicht, und es haben also die Molecüle, welche von der negativen zur positiven Seite gehen, im Allgemeinen gröfsere Geschwindigkeiten, als die, welche von der positiven zur negativen Seite gehen, so dafs, wenn man die Bewegungen aller zusammenstossenden Molecüle zusammensetzen würde, man eine gewisse kleine Bewegungsgröfse nach der positiven x -Richtung erhalten würde.

Diese gemeinsame Bewegungsgröfse bleibt nun durch die Stösse ungeändert; im Uebrigen findet aber eine vollständige Aenderung der Bewegungsrichtungen statt, in dem Sinne, dafs die Molecüle ohne Unterschied nach allen Richtungen gesandt werden. Wenn daher auch vor den Stössen eine ungleiche Betheiligung der verschiedenen Richtungen an der Bewegung stattfand, indem für gewisse Richtungen die Anzahl der dahin gehenden Molecüle oder ihre Geschwindigkeiten andere waren, als für andere Richtungen, so mufs man annehmen, dafs dieses durch die Stösse soweit ausgeglichen wird, dafs aufser der Gesamtbewegung

nach der positiven x -Richtung kein Unterschied der Richtungen übrig bleibt, sondern alle Richtungen in gleicher Weise unter den neuen Bewegungen vertreten sind.

Hiernach ist es, wenn man nicht die Geschwindigkeiten der *einzelnen* Molecüle betrachten will, sondern sich damit begnügt, für jede Richtung die *mittlere* Geschwindigkeit zu kennen, leicht den Bewegungszustand der von der Schicht ausgesandten Molecüle auf bestimmte Weise darzustellen. Man denke sich nämlich zuerst, daß die Molecüle sich nach allen Richtungen in gleicher Weise bewegen, so daß nach allen Richtungen gleich viel Molecüle gehen, und alle gleiche Geschwindigkeit haben, und dann denke man sich zu allen diesen Bewegungen noch eine kleine, für alle Molecüle gleiche Componente nach der positiven x -Richtung hinzugefügt. Dadurch werden die Richtungen und Geschwindigkeiten der Bewegungen etwas geändert, und das so veränderte Bewegungssystem stellt die Bewegungen der von der Schicht ausgesandten Molecüle dar¹⁾.

§. 6. Dieses Bewegungssystem können wir in folgender Weise mathematisch bestimmen.

Die Geschwindigkeit, welche sämtliche Molecüle vor der Veränderung haben, heiße A . Die hinzuzufügende Geschwindigkeitscomponente nach der positiven x -Richtung kann nach dem oben gesagten nur eine sehr kleine Größe seyn, von der Ordnung der mittleren Weglänge der Molecüle. Da diese letztere von der Dichtigkeit des Gases abhängt, so ist sie nicht an allen Punkten der von uns betrachteten Gasmasse gleich groß, und es ist daher für das Folgende zweckmäßig, statt dieser veränderlichen Größe eine solche einzuführen, die für jedes Gas einen bestimmten Werth hat. Dazu nehmen wir für jedes Gas einen gewissen

1) Maxwell hat in seiner oben erwähnten Abhandlung (*Phil. Mag. Vol. XX*) bei der Bestimmung der Wärmeleitung den Umstand, daß die von einer Schicht ausgesandten Molecüle einen Ueberschuß an positiver Bewegungsgröße haben, nicht berücksichtigt, sondern hat in seinen Rechnungen stillschweigend vorausgesetzt, daß die Molecüle nach allen Richtungen in gleicher Weise ausgesandt werden.

Zustand als *Normalzustand* an, z. B. den, wenn das Gas unter dem Drucke von einer Atmosphäre steht, und durchweg die Temperatur des Gefrierpunktes hat. Die für diesen Zustand geltende mittlere Weglänge wollen wir die *normale mittlere Weglänge* nennen und mit ϵ bezeichnen. Dann können wir die vorher erwähnte Geschwindigkeitscomponen- te als eine Größe von der Ordnung ϵ ansehen und wollen sie demgemäß mit $p\epsilon$ bezeichnen.

Wir betrachten nun irgend ein Molecül, dessen Bewegungsrichtung mit der x -Axe den Winkel α bilde. Da von dem Winkel, welchen die Bewegungsrichtung eines Molecüls mit der x -Axe bildet, im Folgenden gewöhnlich nur der Cosinus vorkommt, so wollen wir diesen der Kürze wegen einfach den *Cosinus des Molecüls* nennen und durch einen einzelnen Buchstaben bezeichnen, welcher im vorliegenden Falle λ sey. Wenn nun dem Molecül noch die Geschwindigkeitscomponen- te $p\epsilon$ nach der positiven x Richtung mitgetheilt wird, so wird dadurch seine Geschwindigkeit und sein Cosinus geändert, und wir wollen die veränderten Werthe, welche an die Stellen von A und λ treten, mit U und μ bezeichnen. Dann haben wir zur Bestimmung dieser beiden Größen die Gleichungen:

$$(1) \quad U\mu = A\lambda + p\epsilon$$

$$(2) \quad U^2 = A^2 + 2\lambda A p\epsilon + p^2 \epsilon^2.$$

Setzt man nun in die zweite Gleichung für λA den aus der ersten Gleichung hervorgehenden Werth $U\mu - p\epsilon$, so kommt:

$$U^2 = A^2 + 2\mu U p\epsilon - p^2 \epsilon^2.$$

Löst man diese Gleichung nach U auf, so erhält man zwei Werthe, einen positiven und einen negativen, von denen man selbstverständlich den positiven nehmen muß, welcher lautet:

$$(3) \quad U = p\mu\epsilon + \sqrt{A^2 - p^2(1 - \mu^2)\epsilon^2}.$$

Bezeichnet man den speciellen Werth von U , welcher für $\mu = 0$ gilt, mit u , also:

$$(4) \quad u = \sqrt{A^2 - p^2 \epsilon^2},$$

so geht die vorige Gleichung über in:

$$(5) \quad U = p\mu\epsilon + \sqrt{u^2 + p^2\mu^2\epsilon^2},$$

und wenn man diesen Ausdruck nach $\mu\epsilon$ entwickelt, so erhält man folgende Gleichung, welche die Abhängigkeit der Geschwindigkeit U von dem Cosinus μ auf bequeme Weise darstellt:

$$(1) \quad U = u + p\mu\epsilon + \frac{1}{2} \frac{p^2}{u} \mu^2 \epsilon^2 + \text{etc.}$$

Die hierin vorkommenden Größen u und p können in verschiedenen Schichten verschiedene Werthe haben, und sind somit als Functionen von x anzusehen.

Was nun die Vertheilung der Molecüle unter die verschiedenen Bewegungsrichtungen anbetrifft, so sieht man leicht, daß, wenn das ursprüngliche Bewegungssystem der Art war, daß nach allen Richtungen gleich viele Molecüle gingen, dieses in dem veränderten Bewegungssysteme nicht mehr der Fall seyn kann, sondern, daß nach den Richtungen, für welche μ positiv ist, mehr Molecüle gehen müssen, als nach denjenigen, für welche μ negativ ist.

Um diese Veränderung ausdrücken zu können, gehen wir von der Betrachtung des ursprünglichen Bewegungssystems aus, und bestimmen die Anzahl der Molecüle, deren Bewegungsrichtungen mit der x -Axe Winkel bilden, die zwischen zwei unendlich wenig verschiedenen Werthen α und $\alpha + d\alpha$ liegen. Dazu denken wir uns eine Kugel-Fläche mit dem Radius 1 beschrieben, nehmen den Punkt, wo dieselbe von einer vom Mittelpunkte aus nach der positiven x -Richtung gezogenen Geraden geschnitten wird, als Pol, und schlagen um diesen auf der Kugel-Fläche mit den Bogenradien α und $\alpha + d\alpha$ zwei Kreise, welche eine unendlich schmale Zone zwischen sich einschließen. Dann wird die Anzahl der Molecüle, deren Bewegungsrichtungen mit der x -Axe Winkel zwischen α und $\alpha + d\alpha$ bilden, als Bruchtheil der ganzen Anzahl, welche nach allen möglichen Richtungen gehen, durch dieselbe Zahl dargestellt, welche den Flächeninhalt der eben beschriebenen Kugelzone als Bruchtheil der ganzen Kugel-Fläche darstellt, also durch:

$$\frac{2\pi \sin \alpha d\alpha}{4\pi} \text{ oder } \frac{1}{2} \sin \alpha d\alpha.$$

Da nun $\sin \alpha d\alpha = -d \cos \alpha = -d\lambda$ ist, so kann man auch sagen: die Anzahl der Molecüle, deren Cosinus zwischen λ und $\lambda + d\lambda$ liegen, wird als Bruchtheil der ganzen Anzahl durch

$$\frac{1}{2} d\lambda$$

dargestellt.

Um in dem veränderten Bewegungssysteme in entsprechender Weise die Anzahl der Molecüle auszudrücken, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, müssen wir den vorigen Ausdruck durch Hinzufügung eines Factors modificiren, welcher von μ abhängig ist. Nennen wir diesen Factor H , so lautet der neue Ausdruck:

$$\frac{1}{2} H d\mu.$$

Die Bestimmung des Factors H kann auf folgende Weise geschehen. Da der Cosinus λ durch Hinzufügung der Geschwindigkeitscomponente $p\varepsilon$ in μ , und entsprechend der Cosinus $\lambda + d\lambda$ in $\mu + d\mu$ verändert wird, so gilt für die Molecüle, deren Cosinus nach der Veränderung zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, dieselbe Zahl, wie für die, deren Cosinus vor der Veränderung zwischen λ und $\lambda + d\lambda$ lagen, und wir können daher setzen:

$$\frac{1}{2} H d\mu = \frac{1}{2} d\lambda,$$

woraus folgt:

$$(6) \quad H = \frac{d\lambda}{d\mu}.$$

Nun ist nach Gleichung (1):

$$\lambda = \frac{U\mu}{A} - \frac{p\varepsilon}{A}$$

und wir erhalten also, da A , p und ε von μ unabhängig sind:

$$(7) \quad H = \frac{1}{A} \cdot \frac{d(U\mu)}{d\mu}.$$

Setzen wir hierin für U die in (1) gegebene Reihe und bezeichnen den Bruch $\frac{U}{A}$ mit h , so erhalten wir:

$$(II) \quad H = h \left(1 + 2 \frac{p}{u} \mu \varepsilon + \frac{2}{3} \frac{p^2}{u^2} \mu^2 \varepsilon^2 + \text{etc.} \right)$$

Der Factor h ist von 1 nur um eine Gröfse verschieden, die in Bezug auf ε von zweiter Ordnung ist. Setzt man nämlich gemäß der Gleichung (4) für A den Werth $\sqrt{u^2 + p^2 \varepsilon^2}$, so kommt:

$$(8) \quad h = \frac{u}{\sqrt{u^2 + p^2 \varepsilon^2}} = 1 - \frac{1}{2} \frac{p^2}{u^2} \varepsilon^2 + \text{etc.}$$

Durch die Gleichungen (I) und (II) ist das Bewegungssystem, welches aus dem ganz regelmässigen, in welchem nach allen Richtungen gleich viele Molecüle gehen, und alle Geschwindigkeiten gleich sind, durch Hinzufügung der gemeinsamen Geschwindigkeitscomponente $p\varepsilon$ entsteht, vollständig bestimmt.

§. 7. Das so bestimmte Bewegungssystem entspricht den Bewegungen der von einer Schicht ausgesandten Molecüle, sofern man nur die *gesetzmässigen* Verschiedenheiten berücksichtigt. Um die wirklich stattfindenden Bewegungen zu erhalten, müfste man auch die in §. 3 erwähnten *zufälligen* Verschiedenheiten noch in Betracht ziehen.

Dieses ist natürlich in der Weise, dafs dadurch die Bewegung jedes einzelnen Molecüls bestimmt würde, nicht möglich, aber für eine *grofse Menge* von Molecülen kann man nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit gewisse Sätze aufstellen. Maxwell hat auf diese Weise eine Formel abgeleitet, welche die Art, wie die verschiedenen vorkommenden Geschwindigkeiten unter die Molecüle vertheilt sind, darstellen soll. Für unseren gegenwärtigen Zweck ist es aber nicht nothwendig, hierauf einzugehen, sondern es genügt, wenn zugegeben wird, dafs die zufälligen Verschiedenheiten nach allen Richtungen in gleicher Weise stattfinden, und dafs daher bei einer Gasmasse, deren Temperatur und Dichtigkeit durchweg gleich ist, nach allen Richtungen gleich viel Molecüle gehen, und die mittlere Geschwindigkeit nach allen Richtungen dieselbe ist.

In diesem Falle ist nämlich leicht zu übersehen, dafs die zufälligen Verschiedenheiten nichts dazu beitragen kön-

nen, daß durch eine gegebene Ebene mehr lebendige Kraft in einer Richtung, als in der entgegengesetzten, geht, da sie, welches auch ihre Wirkungen im Einzelnen seyen, jedenfalls nach beiden Seiten in gleicher Weise wirken. Wir können daher bei der Ableitung der allgemeinen Formeln von den zufälligen Verschiedenheiten ganz absehen. Nur bei der numerischen Berechnung kommen sie in Betracht, denn für diese muß man, wenn die Geschwindigkeiten und die von ihnen abhängigen Größen, welche in der Formel durch bestimmte Buchstaben dargestellt sind, in der Wirklichkeit verschiedene Werthe haben, diejenigen Mittelwerthe berechnen, welche die verschiedenen wirklich vorkommenden Werthe in richtiger Weise vertreten, und zur Berechnung dieser Mittelwerthe muß die Art, wie die einzelnen Werthe vertheilt sind, bekannt seyn.

Indem wir uns vorbehalten, auf den letzten Punkt am Schlusse noch einmal zurückzukommen, wollen wir uns für jetzt die Aufgabe stellen, unter der Voraussetzung, daß die durch die Gleichungen (I) und (II) bestimmten Größen U und H die wirklichen Bewegungen der von einer Schicht ausgesandten Molecüle darstellen, den Zustand des Gases, und insbesondere die durch eine Ebene gehende lebendige Kraft zu bestimmen.

III. Verhalten der in einer unendlich dünnen Schicht gleichzeitig befindlichen Molecüle.

§. 8. Wir denken uns zwei auf der x -Axe senkrechte Ebenen mit den Abscissen x und $x + dx$, wodurch wir wieder, wie in den vorigen §§., eine unendlich dünne Schicht erhalten; wollen aber jetzt nicht die von dieser Schicht ausgesandten, sondern die gleichzeitig in dieser Schicht befindlichen Molecüle betrachten.

Wenn das Gas überall gleiche Temperatur und Dichtigkeit hätte, so würden die Bewegungen der Molecüle von der Art seyn, daß nach allen Richtungen gleich viel Molecüle gingen und die Geschwindigkeiten gleich wären. In unserem gegenwärtigen Falle aber, wo die Temperatur und

Dichtigkeit Functionen von x sind, findet diese Gleichförmigkeit nicht statt.

Um die *Geschwindigkeiten* der Molecüle zu bestimmen, wählen wir irgend eine Richtung, welche mit der x -Axe einen Winkel bildet, dessen Cosinus μ ist, und betrachten die Molecüle, welche sich in dieser Richtung bewegen. Ehe ein solches Molecül in unsere unendlich dünne Schicht mit der Abscisse x eintritt, hat es im Allgemeinen seit seinem letzten Zusammenstosse schon einen gewissen Weg durchlaufen. Nennen wir diesen Weg s , so ist die Abscisse des Punktes, wo der letzte Zusammenstoß stattfand, $x - \mu s$, und dadurch ist die Geschwindigkeit des Molecüls bestimmt, indem nach der obigen Annahme die Geschwindigkeit, mit welcher ein Molecül nach einem Zusammenstosse ausgesandt wird, nur von der Abscisse des Stosspunktes und von der Bewegungsrichtung abhängt. Wir haben die Geschwindigkeit oben als Function von x und μ mit U bezeichnet, und demgemäss können wir für diesen Fall, wo das Molecül von einem Punkte mit der Abscisse $x - \mu s$ ausgesandt ist, wenn wir seine Geschwindigkeit mit V bezeichnen, schreiben:

$$(9) \quad V = U - \frac{dU}{dx} \mu s + \frac{1}{2} \frac{d^2 U}{dx^2} \mu^2 s^2 - \text{etc.}$$

Die Weglänge s ist nicht für alle in unserer Schicht befindlichen Molecüle von bestimmter Bewegungsrichtung gleich, und somit sind auch ihre Geschwindigkeiten etwas verschieden. Um die mittlere Geschwindigkeit zu erhalten, muß man die Mittelwerthe von s und s^2 anwenden. Es möge im Folgenden das arithmetische Mittel einer Gröfse, welche in den einzelnen vorkommenden Fällen verschiedene Werthe hat, immer dadurch angedeutet werden, dafs über das Zeichen, welches die einzelnen Werthe der Gröfse darstellt, ein wagerechter Strich gemacht werde, so dafs also \bar{V} den Mittelwerth von V und \bar{s} und \bar{s}^2 die Mittelwerthe von s und s^2 darstellen. Dann kann man schreiben:

$$(10). \quad \bar{V} = U - \frac{dU}{dx} \mu \bar{s} + \frac{1}{2} \frac{d^2 U}{dx^2} \mu^2 \bar{s}^2 - \text{etc.}$$

In diesem Ausdrucke ist zu beachten, daß die GröÙe s^2 nicht gleichbedeutend ist mit $(\bar{s})^2$, sondern besonders bestimmt werden muß. Daraus folgt, daß auch die Mittelwerthe der Potenzen v^2 , v^3 etc. nicht ganz gleich den entsprechenden Potenzen des Mittelwerthes \bar{v} sind. Man muß nämlich, um jene Mittelwerthe zu erhalten, von der Gleichung (9) ausgehend, diese quadriren, cubiren etc., und erst dann für s , s^2 etc. die Mittelwerthe setzen. Dadurch bekommt man:

$$(11) \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{v}^2 = U^2 - 2U \frac{dU}{dx} \mu \bar{s} \\ \quad + \left[U \frac{d^2 U}{dx^2} + \left(\frac{dU}{dx} \right)^2 \right] \mu^2 \bar{s}^2 - \text{etc.} \\ \bar{v}^3 = U^3 - 3U^2 \frac{dU}{dx} \mu \bar{s} \\ \quad + \left[\frac{3}{2} U^2 \frac{d^2 U}{dx^2} + 3U \left(\frac{dU}{dx} \right)^2 \right] \mu^2 \bar{s}^2 - \text{etc.} \\ \text{etc.} \end{array} \right.$$

Die Abweichungen der GröÙen \bar{v}^2 , \bar{v}^3 etc. von den GröÙen $(\bar{v})^2$, $(\bar{v})^3$ etc., welche letzteren man erhält, wenn man die Gleichung (10) quadriert, cubirt etc., treten, wie man sieht, erst in den Gliedern ein, welche in Bezug auf die Weglängen s von zweiter Ordnung sind, und da diese Weglängen durchschnittlich sehr kleine GröÙen sind, so sind auch die Abweichungen nur sehr klein.

§. 9. Es kommt nun darauf an, die GröÙe \bar{s} und \bar{s}^2 näher zu bestimmen.

Dazu wollen wir zuerst untersuchen, wie sich diese GröÙen verhalten, wenn die Temperatur und Dichtigkeit der gegebenen Gasmasse durchweg gleich ist, und wollen dann weiter die Modificationen hinzufügen, welche durch die Verschiedenheit der Temperatur und Dichtigkeit veranlaßt werden.

Wir betrachten also in einem Gase von durchweg gleicher Temperatur und Dichtigkeit alle zu einer gewissen Zeit in einer Schicht enthaltenen Molecüle, und fragen: wie lang sind die Wege, welche die einzelnen Molecüle von ihren letzten Zusammenstößen bis zu diesem Zeitpunkte zurück-

gelegt haben. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Molecül von seinem letzten Zusammenstöße bis zu dem gewählten Zeitpunkte eine zwischen s und $s + ds$ liegende Weglänge zurückgelegt hat, ist ebenso groß, wie die Wahrscheinlichkeit, daß es von jenem Zeitpunkte bis zum nächsten Zusammenstöße einen Weg von derselben Länge zurücklegen wird, und die letztere Wahrscheinlichkeit läßt sich leicht ausdrücken.

Denken wir uns eine große Anzahl von Molecülen, welche, von einem gewissen Zeitpunkte an, sich mit gleicher Geschwindigkeit durch die Gasmasse bewegen, so werden diese bei ihrer Bewegung, das eine früher, das andere später, gegen andere Molecüle stoßen, und wenn z die Anzahl derjenigen Molecüle bedeutet, welche einen Weg s zurücklegen, ohne ein anderes Molecül zu treffen, so muß z mit wachsendem s nach einem bestimmten Gesetze abnehmen. Nennen wir die Wahrscheinlichkeit, daß ein Molecül auf dem unendlich kleinen Wegstücke ds ein anderes trifft, αds , so müssen von der Anzahl z , welche den Weg s ungehindert zurückgelegt haben, auf dem nächsten Wegelemente ds die Anzahl $z\alpha ds$ aufgefangen werden, und die Abnahme von z wird daher durch folgende Gleichung dargestellt:

$$dz = -z\alpha ds,$$

woraus folgt, wenn wir den Anfangswerth, welchen z für $s = 0$ hat, mit Z bezeichnen:

$$z = Ze^{-\alpha s}.$$

Setzt man diesen Werth von z in das Product $z\alpha ds$ ein, so erhält man für die Anzahl der Molecüle, deren Wege zwischen s und $s + ds$ liegen, den Ausdruck:

$$Ze^{-\alpha s}\alpha ds.$$

Um nun die mittlere Länge aller Wege zu erhalten, brauchen wir den letzten Ausdruck nur mit dem Wege s zu multipliciren, dann von $s = 0$ bis $s = \infty$ zu integriren, und das Integral durch die ganze Zahl Z zu dividiren. Das giebt:

$$(12) \quad \bar{s} = \int_0^{\infty} s e^{-\alpha s} \alpha ds = \frac{1}{\alpha}.$$

Dieser Werth, welcher seiner Entwicklung nach zunächst als Mittelwerth der Wege gilt, welche die Molecüle von dem betrachteten Zeitpunkte bis zu ihren nächsten Zusammenstößen zurücklegen, kann ohne Weiteres auch auf die Wege angewandt werden, welche die Molecüle seit ihren letzten Zusammenstößen bis zu dem betrachteten Zeitpunkte zurückgelegt haben, da die Wege vor einem bestimmten Zeitpunkte durchschnittlich eben so groß seyn müssen, als diejenigen nach dem Zeitpunkte.

Denselben Werth $\frac{1}{\alpha}$ erhält man auch, wenn man den Mittelwerth aller während einer gewissen Zeit, zwischen je zwei Zusammenstößen, zurückgelegten Wege sucht. Wenn man nämlich, anstatt die Bewegungen sämtlicher Molecüle von einem gewissen Zeitpunkte an zu betrachten, und sie bis zu den nächsten Zusammenstößen zu verfolgen, die Betrachtung so anstellt, dass man von einer großen Anzahl von Zusammenstößen ausgeht, und dann die Bewegungen der Molecüle bis zu den nächsten Zusammenstößen verfolgt, so bleiben alle vorhergehenden Schlüsse auch für diesen Fall in unveränderter Weise gültig, und der in (12) gegebene Werth $\frac{1}{\alpha}$ muss daher auch der Mittelwerth dieser Wege seyn¹⁾.

- 1) Es kann vielleicht auf den ersten Blick auffällig erscheinen, dass man für die Wege von den letzten Zusammenstößen bis zu einem gewissen Zeitpunkte, oder von diesem Zeitpunkte bis zu den nächsten Zusammenstößen, denselben Mittelwerth erhält, wie für die während einer gewissen Zeit in dem Gase zurückgelegten ganzen Wege von einem Zusammenstoße bis zum nächsten. Dabei muss man aber bedenken, dass der Mittelwerth aus allen Wegen, welche während einer gewissen Zeit in dem Gase zwischen je zwei Zusammenstößen zurückgelegt werden, nicht gleichbedeutend ist mit demjenigen Mittelwerthe, den man erhalten würde, wenn man von allen Molecülen, welche sich in einem gewissen Momente gleichzeitig in einer Schicht befinden, die Wege von ihren letzt vorangegangenen bis zu ihren nächstfolgenden Zusammenstößen betrachten wollte. Im letzteren Falle sind nämlich die großen Wege gegenüber

Ganz dem Obigen entsprechend erhält man den Mittelwerth $\bar{s^2}$, wenn man vor der Integration statt mit s mit s^2 multiplicirt, und im Uebrigen ebenso verfährt. Dann kommt:

$$(13) \quad \bar{s^2} = \int_0^\infty s^2 e^{-\alpha s} \alpha ds = \frac{2}{\alpha^2}.$$

Hieraus ergibt sich zwischen den beiden Mittelwerthen \bar{s} und $\bar{s^2}$ die Beziehung:

$$(14) \quad \bar{s^2} = 2(\bar{s})^2.$$

§. 10. Wir müssen nun untersuchen, wie diese Mittelwerthe sich ändern, wenn das Gas nicht durchweg gleiche Temperatur und Dichtigkeit hat, sondern seine Temperatur und Dichtigkeit Functionen von x sind.

Für die Molecüle, welche sich senkrecht zur x -Axe bewegen, und welche also bei ihrer Bewegung die Abscisse nicht ändern, bleiben alle vorhergehenden Betrachtungen gültig. Wenn wir daher die auf diesen Fall bezüglichen Werthe von den allgemeinen Werthen dadurch unterscheiden, dafs wir die betreffenden Buchstaben mit dem Index 0 versehen, (weil in diesem Falle $\mu = 0$ ist), so können wir schreiben:

$$\bar{s}_0 = \frac{1}{\alpha_0} \quad \text{und} \quad \bar{s}_0^2 = \frac{2}{\alpha_0^2}.$$

Die Gröfse $\frac{1}{\alpha_0}$, welche für diesen bestimmten Fall die mittlere Weglänge darstellt, ist eine Gröfse von derselben Ordnung, wie die mit s bezeichnete *normale* mittlere Weglänge, und wir wollen, um dieses anzudeuten, setzen:

den kleinen stärker vertreten, als im Ersteren, denn ein Molecül braucht zu einem grofsen Wege mehr Zeit, als zu einem kleinen, und es ist daher für einen gewissen Moment mehr Wahrscheinlichkeit, dafs es sich auf einem grofsen Wege befindet, als auf einem kleinen, während im ersteren Falle alle im Gase vorkommenden Wege gleich zählen. Wenn man die Rechnung ausführt, so findet man im letzteren Falle einen doppelt so grofsen Mittelwerth als im ersteren. Von jenem gröfseren Mittelwerthe ist unser oben bestimmter Werth \bar{s} die Hälfte.

(15) $\frac{1}{\alpha_0} = c\epsilon,$
dann haben wir:

$$(16) \quad \begin{cases} \bar{s}_0 = c\epsilon \\ \bar{s}_0^2 = 2c^2\epsilon^2. \end{cases}$$

Für die Moleculë, welche sich nicht senkrecht zur x -Axe bewegen, haben die mittleren Weglängen etwas andere Werthe, was wir dadurch ausdrücken können, dafs wir in den vorigen Gleichungen die Coëfficienten c und c^2 durch Gröfsen ersetzen, die von der Richtung abhängen. Diese Abhängigkeit von der Richtung beruht auf zwei Umständen, welche getrennt betrachtet werden können.

Der erste Umstand ist der, dafs an den Stellen, von wo die Moleculë ausgehen, und in den Schichten, welche sie durchlaufen müssen, ehe sie in unsere Schicht kommen, nicht dieselbe Temperatur und Dichtigkeit herrscht, wie in unserer Schicht. Ist μ der Cosinus des Winkels, den eine zur Betrachtung ausgewählte Bewegungsrichtung mit der x -Axe bildet, so ist für ein Molecul, dessen Weglänge s ist, der Abstand des Ausgangspunktes von unserer unendlich dünnen Schicht gleich μs . Die in diesem Abstände stattfindenden abweichenden Werthe der Temperatur und Dichtigkeit lassen sich in der bekannten Weise durch Reihen darstellen, welche nach ganzen Potenzen von μs fortschreiten. Da nun die Veränderungen, welche die Coëfficienten c und c^2 durch die Abweichungen der Temperatur und Dichtigkeit erleiden, diesen Abweichungen selbst entsprechen müssen, so können wir schliessen, dafs sich die veränderten Coëfficienten durch ähnliche Reihen darstellen lassen, welche aber statt der einzelnen Werthe von s , s^2 etc. die betreffenden Mittelwerthe enthalten. Wir können also schreiben:

$$\begin{aligned} \bar{s} &= s(c + a\mu\bar{s} + a'\mu^2\bar{s}^2 + \text{etc.}) \\ \bar{s}^2 &= 2s^2(c^2 + b\mu\bar{s} + \text{etc.}) \end{aligned}$$

Setzen wir hierin an der rechten Seite für \bar{s} und \bar{s}^2 die Werthe, welche sich aus eben diesen Gleichungen ergeben, so erhalten wir Reihen, die nach Potenzen von $\mu\epsilon$ fortschreiten, und welche wir, wenn wir für die zusammenge-

setzten Coëfficienten der höheren Glieder wieder einfache Zeichen setzen, so schreiben können:

$$(17) \quad \begin{cases} \bar{s} = \varepsilon (c + A\mu\varepsilon + A'\mu^2\varepsilon^2 + \text{etc.}) \\ \bar{s}^2 = 2\varepsilon^2 (c^2 + B\mu\varepsilon + \text{etc.}) \end{cases}$$

Der zweite Umstand, welcher auf die mittlere Weglänge Einfluss hat, ist der, dass in jeder einzelnen Schicht, für sich betrachtet, die Molecüle sich nicht nach allen Richtungen in gleicher Weise bewegen, und dass daher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Molecül auf einem Wegelemente ds ein anderes Molecül trifft, an derselben Stelle verschieden ist, je nach den verschiedenen Richtungen, die ds haben kann. Um diesem Umstande Rechnung zu tragen, ersetzen wir in der vorigen Gleichung wieder alle Coëfficienten c , c^2 , A , A' , B durch Gröfsen, die von der Richtung abhängen. Nun haben wir früher gesehen, dass die Gröfsen U und H , welche die ungleichen Bewegungen nach verschiedenen Richtungen für die von irgend einer Schicht ausgesandten Molecüle bestimmen, nur in geringem Grade mit μ veränderlich sind, und zwar so, dass sie sich durch Reihen darstellen lassen, welche nach Potenzen von $\mu\varepsilon$ fortschreiten. Daraus kann man schliessen, dass auch die wegen dieser ungleichen Bewegungen modificirten Coëfficienten sich durch solche Reihen darstellen lassen, so dass wir für c setzen können:

$$c + c_1\mu\varepsilon + c_2\mu^2\varepsilon^2 + \text{etc.}$$

und entsprechend für die anderen Coëfficienten. Führen wir diese Reihen in die Gleichungen (17) ein, und ordnen die Ausdrücke nach $\mu\varepsilon$, so erhalten wir für \bar{s} und \bar{s}^2 wieder Reihen, welche nach Potenzen von $\mu\varepsilon$ fortschreiten, und welche sich von den vorigen nur durch die Coëfficienten der höheren Glieder unterscheiden. Bezeichnen wir diese Coëfficienten durch neue Buchstaben, so lauten die definitiven Ausdrücke, welche wir unter Berücksichtigung beider Umstände erhalten:

$$(18) \quad \begin{cases} \bar{s} = \varepsilon (c + C\mu\varepsilon + C'\mu^2\varepsilon^2 + \text{etc.}) \\ \bar{s}^2 = 2\varepsilon^2 (c^2 + D\mu\varepsilon + \text{etc.}) \end{cases}$$

Es mag übrigens bemerkt werden, daß von den Coëfficienten dieser Reihen im Folgenden nur c wirklich gebraucht wird, und die höheren Glieder, wo sie vorkommen, nur der größeren Vollständigkeit wegen hinzugefügt sind.

§. 11. Diese Ausdrücke von \bar{s} und \bar{s}^2 müssen nun in die Gleichungen (10) und (11) des §. 8 eingesetzt werden. Wenn man dabei zugleich für U die in Gleichung (I) gegebene Reihe setzt, so erhält man für \bar{V} , \bar{V}^2 , \bar{V}^3 etc. Reihen, welche nach Potenzen von μs fortschreiten, und welche man, wenn man einige neue Buchstaben einführt, folgendermaßen schreiben kann:

$$(III) \quad \begin{cases} \bar{V} = u + q\mu s + r\mu^2 s^2 + \text{etc.} \\ \bar{V}^2 = u^2 + 2uq\mu s + (2ur + q^2)\mu^2 s^2 + \text{etc.} \\ \bar{V}^3 = u^3 + 3u^2q\mu s + 3(u^2r + uq^2)\mu^2 s^2 + \text{etc.} \\ \text{etc.} \end{cases}$$

Die hierin eingeführten Buchstaben q , q^2 und r haben folgende Bedeutungen:

$$(19) \quad \begin{cases} q = p - c \frac{du}{dx} \\ q^2 = q^2 + c^2 \left(\frac{du}{dx} \right)^2 \\ r = \frac{1}{2} \frac{p^2}{u} - c \frac{dp}{dx} - C \frac{du}{dx} + c^2 \frac{d^2 u}{dx^2} \end{cases}$$

§. 12. Nachdem auf diese Weise die *Geschwindigkeiten* der Molecüle, welche sich gleichzeitig in einer gewissen Schicht befinden, bestimmt sind, muß noch untersucht werden, *wie die Bewegungen dieser Molecüle unter die verschiedenen Richtungen vertheilt sind.*

Wenn die Bewegungen nach allen Richtungen in gleicher Weise gingen, so würde aus denselben Gründen, welche bei Behandlung der von einer Schicht ausgesandten Molecüle in §. 6 besprochen wurden, die Anzahl derjenigen Molecüle, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, als Bruchtheil der ganzen vorhandenen Anzahl, durch $\frac{1}{2} d\mu$ dargestellt werden. Im gegenwärtigen Falle, wo die Bewegungen nicht nach allen Richtungen in gleicher Weise

gehen, sondern nur solche Richtungen, die mit der x -Axe gleiche Winkel bilden, sich unter einander gleich verhalten, wollen wir die Anzahl derjenigen Molecüle, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, als Bruchtheil der ganzen vorhandenen Anzahl, mit $\frac{1}{2} J d\mu$ bezeichnen, worin J eine Function von μ bedeutet. Man kann sich nun durch ähnliche Betrachtungen, wie die, welche in den vorigen §§. an- gestellt wurden, leicht davon überzeugen, daß die Function J sich durch eine Reihe, die nach Potenzen von $\mu \varepsilon$ fort- schreitet, darstellen lassen muß, und man kann sie daher in folgender Form schreiben:

(IV) $J = i(1 + q'\mu\varepsilon + r'\mu^2\varepsilon^2 + \text{etc.})$,
worin i, q', r' etc. von μ unabhängige Größen sind.

Die Größe i läßt sich leicht sofort bestimmen. Wenn man den Ausdruck $\frac{1}{2} J d\mu$ von $\mu = -1$ bis $\mu = +1$ integri- rirt, so umfaßt diese Integration alle vorhandenen Mole- cüle, und der Werth des Integrales muß daher 1 seyn. Führt man dieses aus, indem man für J die eben aufge- stellte Reihe setzt, so kommt:

$1 = i(1 + \frac{1}{2} r' \varepsilon^2 + \text{etc.})$,
und somit:
(20) $i = 1 - \frac{1}{2} r' \varepsilon^2 + \text{etc.}$

Die anderen in der Reihe (IV) vorkommenden Größen q', r' etc. wollen wir vorläufig unbestimmt lassen, indem sich bald Gelegenheit bieten wird, sie, soweit es nöthig ist, zu bestimmen.

IV. Verhalten der Molecüle, welche während einer Zeiteinheit durch eine gegebene Ebene gehen.

§. 13. Wir wollen unsere Aufmerksamkeit auf irgend eine auf der x -Axe senkrechte Ebene und auf die durch diese Ebene gehenden Molecüle richten. Wählen wir z. B. die Ebene, welche die Abscisse x hat, und welche die erste Gränzebene der in den §§. 8 u. f. betrachteten unendlich dünnen Schicht ist, so können wir aus dem Verhalten der gleichzeitig in der Schicht befindlichen Molecüle bestimmte Schlüsse über das Verhalten derjenigen Molecüle ziehen,

welche während einer gewissen Zeit durch unsere Ebene gehen.

Wir denken uns auf der Ebene ein Stück von der Gröfse einer Flächeneinheit abgegränzt. Der Rauminhalt des Stückes der Schicht, welches diesem Flächenstücke entspricht, wird, wenn dx die Dicke der Schicht ist, durch dx dargestellt, und die Anzahl der Molecüle, welche sich gleichzeitig in diesem Raume befinden, wollen wir mit Ndx bezeichnen, worin N eine sehr grofse Zahl ist, welche von der Dichtigkeit des Gases an der betreffenden Stelle abhängt. Diese Ndx Molecüle bewegen sich nach allen möglichen Richtungen, und die Anzahl derjenigen, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, bildet von jener ganzen Anzahl nach dem vorigen §. den Bruchtheil $\frac{1}{2} J d\mu$, und wird somit vollständig dargestellt durch das Product:

$$\frac{1}{2} N J dx d\mu.$$

Um aus dieser Zahl, welche sich auf die gleichzeitig in der Schicht befindlichen Molecüle bezieht, die Anzahl derjenigen Molecüle abzuleiten, welche während einer Zeiteinheit die Schicht durchlaufen, und welche daher auch durch die zur Betrachtung ausgewählte Gränzebene gehen, mufs man die Zeit, welche jedes Molecül gebraucht, um die Schicht von der einen Gränzebene bis zur anderen zu durchlaufen, berücksichtigen. Die Länge des Weges von der einen Gränzebene bis zur anderen, ist für ein Molecül mit dem Cosinus μ , abgesehen vom Vorzeichen, gleich $\frac{dx}{\mu}$, und die zur Durchlaufung dieses Weges nöthige Zeit ist, wenn V die Geschwindigkeit bedeutet, gleich $\frac{dx}{\mu V}$. Nehmen wir nun vorläufig an, dafs alle Molecüle, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, gleiche Geschwindigkeiten haben, und somit auch gleiche Zeit zur Durchlaufung der Schicht gebrauchen, so verhält sich die Anzahl der Molecüle, welche sich gleichzeitig in der Schicht befinden, zu der Anzahl derjenigen, welche die Schicht während der Zeiteinheit durchlaufen, wie jene kleine Zeit zur

Zeiteinheit, und man muß daher die erstere Anzahl durch die kleine Zeit dividiren, um die letztere zu bekommen.

Wenden wir dieses auf unseren Fall an, so müssen wir die Größe $\frac{1}{2} N J dx d\mu$ durch $\frac{dx}{\mu V}$ dividiren, und erhalten daher für die Anzahl der Molecüle, welche während der Zeiteinheit durch unsere Flächeneinheit in solchen Richtungen gehen, daß die Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, den Ausdruck:

$$\frac{1}{2} N J V \mu d\mu.$$

Dabei ist noch zu bemerken, daß der Unterschied des Vorzeichens, der bei diesem Ausdrucke dadurch entsteht, daß der Cosinus μ positiv oder negativ seyn kann, einem wesentlichen Unterschiede in der Art des Durchganges entspricht. Wenn μ positiv ist, so gehen die Molecüle von der negativen nach der positiven Seite durch die Ebene; und wenn μ negativ ist, so gehen sie im umgekehrten Sinne hindurch.

§. 14. Ehe wir den eben gewonnenen Ausdruck, welcher sich nur auf ein unendlich kleines Intervall des Cosinus μ bezieht, und gleiche Geschwindigkeiten voraussetzt, erweitern, wollen wir noch zwei andere entsprechende Ausdrücke ableiten.

Ein Molecül, welches sich mit der Geschwindigkeit V bewegt, hat, wenn wir seine Maasse mit m bezeichnen, die Bewegungsgröße mV , und das Product $mV\mu$ stellt diejenige Componente der Bewegungsgröße dar, welche in die x -Richtung fällt, und zwar in dem Sinne, daß ein positiver Werth des Productes dem Falle entspricht, wo die Componente in die positive x -Richtung fällt. Wir wollen daher das Product kurz die *positive Bewegungsgröße* des Molecüls nennen. Demnach wird die gesammte *positive Bewegungsgröße* der oben betrachteten $\frac{1}{2} N J V \mu d\mu$ Molecüle, welche durch unsere Ebene gehen, durch

$$\frac{1}{2} m N J V^2 \mu^2 d\mu$$

dargestellt.

Ferner wird für ein Molecül von der Masse m und mit

der Geschwindigkeit V die lebendige Kraft der Bewegung durch $\frac{1}{2} m V^2$ dargestellt. Wenn das Molecül außer der fortschreitenden Bewegung, deren Geschwindigkeit V ist, auch noch eine rotirende Bewegung oder eine schwingende Bewegung seiner Bestandtheile besitzt, so ist die gesammte lebendige Kraft größer, als jenes Product. Ich habe in meinem Aufsatze „über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen“, über diese Bewegungen, welche neben der fortschreitenden Bewegung noch stattfinden können, gesprochen, und habe darauf hingewiesen, daß bei einer bestimmten Art von Molecülen zwischen den verschiedenen gleichzeitig stattfindenden Bewegungen durchschnittlich ein bestimmtes Verhältniß obwalten muß, so daß die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung einen bestimmten aliquoten Theil der ganzen lebendigen Kraft bildet. Wir wollen daher den Durchschnittswerth der ganzen lebendigen Kraft eines Molecüls mit $\frac{1}{2} k m V^2$ bezeichnen, worin k ein Factor ist, der für jede Gasart einen bestimmten Werth hat ¹⁾. Demgemäß erhält man für die lebendige Kraft jener $\frac{1}{2} N J V \mu d\mu$ Molecüle, welche durch unsere Ebene gehen, den Ausdruck:

$$\frac{1}{2} k m N J V^2 \mu d\mu.$$

§. 15. Um nun die drei in den beiden vorigen §§. gefundenen Ausdrücke so umzugestalten, daß sie auch gültig bleiben, wenn die Geschwindigkeiten der einzelnen Molecüle nicht gleich sind, brauchen wir nur an die Stelle der Werthe V , V^2 und V^3 die Mittelwerthe \bar{V} , \bar{V}^2 und \bar{V}^3 zu setzen. Um ferner die Ausdrücke, welche sich nur auf ein unendlich kleines Intervall des Cosinus μ beziehen, auf alle durch die Ebene gehenden Molecüle auszudehnen, müssen

- 1) Wie man diesen Factor mit Hülfe der beiden specifischen Wärmen berechnen kann, habe ich in meiner oben erwähnten früheren Abhandlung gezeigt. Für diejenigen einfachen Gase, welche in Bezug auf ihr Volumen keine Unregelmäßigkeit zeigen, und für die zusammengesetzten, welche bei der Verbindung keine Volumverminderung erlitten haben, ist der Factor angenähert gleich $\frac{1}{0,6315}$ oder 1,584. Für die Gase, welche bei der Verbindung eine Volumverminderung erlitten haben, ist er größer.

wir sie noch von $\mu = -1$ bis $\mu = +1$ integrieren. Dabei wollen wir der Gleichförmigkeit wegen den ersten Ausdruck auch mit m , der Masse eines Molecüls, multipliciren, so daß er statt der Anzahl der Molecüle die Masse derselben darstellt. Führen wir dann zur Abkürzung folgende Zeichen ein: E die Masse, F die positive Bewegungsgröße und G die lebendige Kraft, welche während der Zeiteinheit in positiver Richtung durch die Flächeneinheit unserer Ebene gehen, so erhalten wir folgende Gleichungen:

$$(V) \quad \begin{cases} E = \frac{1}{2} m N \int_{-1}^{+1} J \bar{V} \mu d\mu \\ F = \frac{1}{2} m N \int_{-1}^{+1} J \bar{V}^2 \mu^2 d\mu \\ G = \frac{1}{2} k m N \int_{-1}^{+1} J \bar{V}^3 \mu d\mu. \end{cases}$$

Die letzte dieser drei Größen stellt die im Gase stattfindende Wärmeleitung dar, und sie ist es daher vorzugsweise, um deren Bestimmung es sich im Folgenden handelt. Die beiden anderen Größen mußten deshalb mit in Betracht gezogen werden, weil sie, wie wir gleich sehen werden, zur Bestimmung jener beitragen.

Setzt man in den drei Gleichungen für \bar{V} , \bar{V}^2 , \bar{V}^3 und J die in (III) und (IV) gegebenen Reihen ein, und führt die Integration aus, so kommt:

$$(VI) \quad \begin{cases} E = \frac{1}{2} m N (q + uq) \varepsilon + X_3 \varepsilon^3 \\ F = \frac{1}{2} m N u^2 + X_1 \varepsilon^2 \\ G = \frac{1}{2} k m N u^2 (3q + uq) \varepsilon + X_2 \varepsilon^3. \end{cases}$$

Die Glieder $X_3 \varepsilon^3$, $X_1 \varepsilon^2$ und $X_2 \varepsilon^3$, in welchen die Factoren X_3 , X_1 und X_2 unbestimmt gelassene Functionen von x bedeuten, sind nur hinzugefügt, um anzudeuten, von welcher Ordnung die Glieder sind, die man noch erhalten würde, wenn man die Rechnung weiter ausführte. Man sieht, daß in allen drei Gleichungen das zweite Glied um zwei Ordnungen höher ist, als das erste, und wenn wir

uns daher bei unseren Resultaten mit einer solchen Annäherung begnügen wollen, daß wir Gröfsen von der Ordnung ε^2 gegen die Einheit vernachlässigen, was wir unbedenklich thun können, da ε eine sehr kleine Gröfse ist, so können wir im Folgenden jene hinzugefügten unbestimmt gelassenen Glieder ganz fortlassen.

Betrachtet man die Ordnung des ersten geltenden Gliedes, so kann es vielleicht auffallen, daß die Gröfse F von der nullten Ordnung in Bezug auf ε ist, während E und G von der ersten Ordnung sind. Das erklärt sich aber daraus, daß die Bewegungsgröfse sich in Bezug auf das Vorzeichen anders verhält, wie die Masse und die lebendige Kraft. Die Bewegungsgröfse eines Molecüls, welches in negativer Richtung durch die Ebene geht, ist nämlich an sich negativ, und da sie wegen des Durchganges in negativer Richtung auch noch mit dem negativen Vorzeichen versehen werden muß, so wird sie dadurch wieder positiv, so daß sich die positiven und negativen Durchgänge in diesem Falle nicht, wie in den beiden andern Fällen, gegenseitig subtrahiren, sondern addiren.

§. 16. In Bezug auf die Gröfsen E , F und G lassen sich aus der Annahme, daß das Gas sich in einem stationären Zustande befinden soll, sofort folgende Sätze ableiten.

1) *Die Gasmasse, welche durch die Ebene geht, muß Null seyn.* Da nämlich die ganze vorhandene Gasmasse zwischen zwei festen Wänden eingeschlossen ist, so müfste, wenn durch eine Zwischenebene Gas in einer Richtung hindurchginge, die Dichtigkeit an der einen Seite der Ebene zunehmen und an der andern abnehmen, was der Voraussetzung widerspricht.

2) *Die positive Bewegungsgröfse, welche während der Zeiteinheit durch unsere Ebene geht, muß von der Lage der Ebene unabhängig, also in Bezug auf x constant seyn.* Denkt man sich nämlich durch irgend zwei parallele Ebenen eine Schicht abgegränzt, so muß die Bewegungsgröfse, welche durch die eine Ebene in die Schicht eintritt, gleich der-

jenigen seyn, welche durch die andere austritt, weil sonst die in der Schicht vorhandene Bewegungsgröße sich ändern müßte, was der Bedingung des stationären Zustandes widerspricht.

3) *Die lebendige Kraft, welche während der Zeiteinheit durch die Ebene geht, muß in Bezug auf x constant seyn*, aus demselben Grunde, welche für die positive Bewegungsgröße angeführt wurde.

Man kann also folgende drei Bedingungsgleichungen aufstellen:

$$(21) \quad \begin{cases} E = 0 \\ F = \text{Const.} \\ G = \text{Const.} \end{cases}$$

welche wir nun auf die für E , F und G gewonnenen Ausdrücke anwenden wollen.

Die erste Gleichung giebt, wenn wir das Glied $X\epsilon^3$ vernachlässigen.

$$q + uq' = 0,$$

wodurch die Beziehung zwischen den Coëfficienten q und q' bestimmt ist, nämlich:

$$(22) \quad q' = -\frac{q}{u}.$$

Hierdurch geht die Gleichung (IV), wenn wir darin zugleich für i den in (20) gegebenen Werth setzen, über in:

$$(VII) \quad J = 1 - \frac{q}{u}\mu\epsilon + r'(\mu^2 - \frac{1}{3})\epsilon^2 + \text{etc.}$$

Die zweite der vorigen Gleichungen giebt unter Vernachlässigung von X , ϵ^2 :

$$(23) \quad Nu^3 = \text{Const.}$$

Durch N wird die Dichte des Gases an der betreffenden Stelle bestimmt, und u^2 ist der absoluten Temperatur proportional, und es folgt somit, daß das Product aus der Dichte und der absoluten Temperatur oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Druck in der ganzen Gasmasse constant seyn muß, ein Resultat, welches man auch im Voraus als selbstverständlich betrachten konnte.

Was endlich die Gröfse G anbetrifft, so geht die letzte der Gleichungen (VI) unter Anwendung der Gleichung (22) und Vernachlässigung des Gliedes $X_2 \varepsilon^2$ in folgende über:

$$(VIII) \quad G = \frac{1}{2} k m N u^2 q \varepsilon.$$

Da nun dem Vorigen nach $N u^2$ constant ist, und k , m und ε an sich Constante sind, so folgt, dafs, wenn G constant seyn soll, auch seyn mufs:

$$(24) \quad q = \text{Const.}$$

Es kommt nun zur Bestimmung der Wärmeleitung, abgesehen von der Gröfse ε , welche ich in meiner früheren Abhandlung besprochen habe, nur noch auf die Bestimmung dieser einen constanten Gröfse q an.

V. Beziehung zwischen den gleichzeitig in einer Schicht befindlichen und den von derselben Schicht ausgesandten Molecülen.

§. 17. Um zu finden, wieviel Molecüle von einer Schicht ausgesandt werden, müssen wir wissen, wie grofs die Wahrscheinlichkeit ist, dafs ein Molecül beim Durchlaufen der Schicht mit einem anderen in der Schicht befindlichen Molecül zusammenstößt, da die zusammenstofsenden Molecüle es sind, welche nach dem Auseinanderprallen mit veränderter Geschwindigkeit und Richtung aus der Schicht austreten, und welche wir als die *von der Schicht ausgesandten* Molecüle bezeichnen.

Die Wahrscheinlichkeit, dafs ein Molecül auf einer unendlich kleinen Wegstrecke ds mit einem anderen zusammentrifft, nennen wir, wie in §. 9, αds , und es kommt nun darauf an, die Gröfse α näher zu bestimmen.

In meiner früheren Abhandlung habe ich den Werth α für den Fall bestimmt, wo ein Molecül sich in einem Raume bewegt, welcher sehr viele andere Molecüle enthält, die sich an bestimmten Stellen in Ruhe befinden, und habe dort gefunden¹⁾:

$$\alpha = \frac{\pi \varrho^2}{\lambda^3},$$

worin ϱ den Radius der Wirkungssphäre eines Molecüls

1) Diese Annalen Bd. CV, S. 248.

in der dort näher definirten Bedeutung darstellt, und λ der Abstand ist, den zwei Nachbarmolecüle haben würden, wenn die Molecüle statt ihrer wirklich stattfindenden unregelmäßigen Vertheilung eine regelmäßige cubische Anordnung hätten, (d. h. wenn der ganze Raum in kleine cubische Räume eingetheilt, und die Molecülcentra in die Eckpunkte derselben gelegt wären.) Statt der Größe λ kann man auch die Anzahl N der Molecüle, welche sich in einer Raumeinheit befinden, einführen. Es müssen nämlich soviel Molecüle in der Raumeinheit seyn, als solche cubische Räume von der Seite λ darin enthalten sind, und man hat daher $N = \frac{1}{\lambda^3}$, wodurch die vorige Gleichung übergeht in:

$$(25) \quad \alpha = \pi \rho^2 N.$$

Dieser Ausdruck von α läßt sich leicht so umändern, daß er auch für den Fall gilt, wo die übrigen Molecüle nicht in Ruhe sind, sondern sich ebenfalls in irgend einer Weise bewegen.

Wenn wir die Wahrscheinlichkeit, daß das zur Betrachtung ausgewählte Molecül während des Zeitelementes dt ein anderes Molecül trifft, mit αdt bezeichnen, und ds als den während der Zeit dt zurückgelegten Weg betrachten, so ist:

$$(26) \quad \alpha dt = \alpha ds,$$

oder, wenn wir für $\frac{ds}{dt}$, welches die Geschwindigkeit des betrachteten Molecüls ist, v setzen:

$$(27) \quad \alpha = \alpha v.$$

Führen wir hierin für α seinen Werth aus (25) ein, so kommt:

$$(28) \quad \alpha = \pi \rho^2 N v.$$

Denken wir uns nun, daß die übrigen Molecüle, anstatt zu ruhen, sich alle nach einer bestimmten Richtung mit einer gemeinsamen Geschwindigkeit bewegen, so wird offenbar die Wahrscheinlichkeit, daß das Molecül während der Zeit dt mit einem anderen Molecül zusammentrifft, durch dieselbe Formel, wie im vorigen Falle dargestellt, wenn man

darin an die Stelle der wirklichen Geschwindigkeit v des betrachteten Molecüls, die *relative* Geschwindigkeit desselben zu den übrigen Molecülen setzt. Sey V die gemeinsame Geschwindigkeit der übrigen Molecüle, φ der Winkel zwischen ihrer Bewegungsrichtung und derjenigen des betrachteten Molecüls und R die relative Geschwindigkeit, so ist:

$$(29) \quad R = \sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos \varphi},$$

und mit diesem Werth können wir setzen:

$$(30) \quad \alpha = \pi \rho^2 N R.$$

Denken wir uns nun endlich, daß die übrigen Molecüle sich nicht alle nach derselben Richtung, sondern nach verschiedenen Richtungen bewegen, und Geschwindigkeiten haben, die nicht unter einander gleich zu seyn brauchen, so sind die relativen Geschwindigkeiten des betrachteten Molecüls zu den übrigen Molecülen unter einander verschieden, und man muß in der Gleichung den *Mittelwerth* der relativen Geschwindigkeiten anwenden. Diesen Mittelwerth wollen wir durch \overline{R} bezeichnen¹⁾, dann lautet die Gleichung für α :

$$(31) \quad \alpha = \pi \rho^2 N \overline{R}$$

und daraus ergibt sich für α in Folge von (27) die Gleichung:

$$(32) \quad \alpha = \pi \rho^2 N \frac{\overline{R}}{v}.$$

§. 18. Es kommt nun darauf an, für ein gegebenes Molecül, welches sich in unserer unendlich dünnen Schicht bewegt, die *mittlere relative Geschwindigkeit* zu allen gleichzeitig in der Schicht befindlichen Molecülen zu bestimmen.

Die relative Geschwindigkeit R des gegebenen Molecüls zu einem bestimmten anderen Molecül, dessen Bewegungsrichtung mit der seinigen den Winkel φ bildet, und welches die Geschwindigkeit V hat, ist durch Gleichung (29)

1) Weshalb in diesem Falle zwei wagerechte Striche über den Buchstaben R gesetzt sind, und nicht, wie in früheren Fällen, bloß einer, wird im Folgenden gleich ersichtlich werden.

bestimmt. Betrachten wir nun alle Molecüle, welche sich in derselben Richtung bewegen, so sind, wie wir in §. 8 gesehen haben, die Geschwindigkeiten derselben unter einander nicht ganz gleich, und demgemäfs sind auch die relativen Geschwindigkeiten des gegebenen Molecüls zu diesen Molecülen etwas verschieden, und wir wollen daher zunächst für jede bestimmte Richtung eine mittlere relative Geschwindigkeit einführen, welche wir mit \bar{R} bezeichnen.

Was ferner die verschiedenen vorkommenden Bewegungsrichtungen anbelangt, so wollen wir, um diese in anschaulicher Weise angeben zu können, wie früher, eine mit dem Radius 1 geschlagene Kugelfläche betrachten, von deren Mittelpunkte aus wir uns die Richtungen gezogen denken, so dafs jeder Punkt der Kugelfläche eine Richtung repräsentirt. Wenn sich die Molecüle nach allen Richtungen in gleicher Weise bewegten, so würde die Anzahl derjenigen Molecüle, deren Richtungen in ein Element $d\omega$ der Kugelfläche fallen, sich zur ganzen vorhandenen Anzahl verhalten, wie die Gröfse des Elementes zur ganzen Kugelfläche, und jene Anzahl würde also als Bruchtheil der ganzen vorhandenen Anzahl durch $\frac{d\omega}{4\pi}$ dargestellt werden. In unserem gegenwärtigen Falle, wo die Molecüle sich nicht nach allen Richtungen in gleicher Weise bewegen, mufs jener Ausdruck modificirt werden, und zwar wird nach der in §. 12 eingeführten Bezeichnungsweise die Anzahl der Molecüle, deren Richtungen in das Element $d\omega$ fallen, als Bruchtheil der ganzen vorhandenen Anzahl durch $J \frac{d\omega}{4\pi}$ dargestellt.

Ist nun \bar{R} die mittlere relative Geschwindigkeit des gegebenen Molecüls zu denjenigen Molecülen, deren Bewegungsrichtungen in das Element $d\omega$ fallen, und \bar{R} die mittlere relative Geschwindigkeit des gegebenen Molecüls zu allen vorhandenen Molecülen, so gilt zur Bestimmung der letzteren folgende Gleichung:

$$(33) \quad \bar{R} = \int \frac{d\omega}{4\pi} J \bar{R},$$

worin die Integration über die ganze Kugelfläche auszu-
dehnen ist. Dieses Integral wollen wir nun entwickeln.

§. 19. Nach Gleichung (29) ist:

$$R = \sqrt{V^2 + v^2 - 2Vv \cos \varphi},$$

welcher Gleichung wir folgende etwas veränderte Gestalt
geben wollen:

$$(34) \quad R = \sqrt{2} \sqrt{Vv} \sqrt{1 - \cos \varphi + \frac{(V-v)^2}{2Vv}}.$$

Die mit V bezeichnete Geschwindigkeit irgend eines in der
Schicht befindlichen Molecüls ist, wie wir früher gesehen
haben, von der mit u bezeichneten Geschwindigkeit derje-
nigen Molecüle, welche sich senkrecht zur x -Axe bewegen,
nur so wenig verschieden, daß der Unterschied eine GröÙe
von der Ordnung ε ist. Wenn wir nun annehmen, daß
auch die Geschwindigkeit v des gegebenen Molecüls von u
nur um eine GröÙe derselben Ordnung abweicht, so ist
die Differenz $V - v$ ebenfalls eine GröÙe von der Ordnung
 ε , und demgemäß das in der letzten Wurzel vorkommende
Glieder $\frac{(V-v)^2}{2Vv}$ eine GröÙe von der Ordnung ε^2 . Aus die-
sem Gliede kann auch bei der Integration wieder nur ein
Glieder von derselben Ordnung entstehen, und wir können
daher, wenn wir die Glieder von zweiter und höherer Ord-
nung in dem gesuchten Ausdrücke von \bar{R} vernachlässigen
wollen, die GröÙe $\frac{(V-v)^2}{2Vv}$ von vorn herein fortlassen, wo-
durch die Rechnung sehr vereinfacht wird.

Die Gleichung für R lautet dann:

$$(35) \quad R = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \sqrt{Vv}.$$

Nun ist nach Gleichung (9):

$$V = U - \frac{dU}{dx} \mu s + \text{etc.},$$

wodurch die vorige Gleichung, wenn man sie nach s bis
zum Gliede erster Ordnung entwickelt, übergeht in:

$$R = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \sqrt{Uv} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{1}{U} \frac{dU}{dx} \mu s \right).$$

Setzt man hierin noch für s den Mittelwerth \bar{s} , so erhält
man statt R den Mittelwerth \bar{R} , also:

$$(36) \quad \bar{R} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \sqrt{Uv} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{1}{U} \frac{dU}{dx} \mu s\right).$$

Wir wollen nun für U und s ihre in (I) und (18) gegebenen Ausdrücke einführen, welche unter Vernachlässigung der Glieder von zweiter und höherer Ordnung lauten:

$$\frac{U}{s} = u + p\mu\varepsilon$$

$$s = c\varepsilon,$$

und zugleich wollen wir setzen

$$(37) \quad v = u + \delta,$$

worin δ irgend eine GröÙe von der Ordnung ε bedeuten soll. Dann kommt:

$$\bar{R} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \left[u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{2} \left(p - c \frac{du}{dx} \right) \mu \varepsilon \right]$$

oder, da wir für $p - c \frac{du}{dx}$ schon in (19) den Buchstaben q eingeführt haben:

$$(38) \quad \bar{R} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \left(u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{2} q \mu \varepsilon \right).$$

Diesen Ausdruck haben wir mit J zu multipliciren, welches nach (VII) unter Vernachlässigung der höheren Glieder durch $1 - \frac{q}{u} \mu \varepsilon$ dargestellt wird, also:

$$(39) \quad J\bar{R} = \sqrt{2} \sqrt{1 - \cos \varphi} \left(u + \frac{1}{2} \delta - \frac{1}{2} q \mu \varepsilon \right),$$

und dieses Product muß in (33) eingesetzt, und dann die Integration ausgeführt werden.

Dazu müssen wir die Beziehung zwischen $\cos \varphi$ und dem durch μ bezeichneten Cosinus kennen. Unter μ verstehen wir den Cosinus des Winkels, den die Bewegungsrichtung irgend eines Molecüls mit der x -Axe bildet, und unter φ den Winkel zwischen der Bewegungsrichtung dieses Molecüls und derjenigen des gegebenen Molecüls. Ferner sey noch η der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung des gegebenen Molecüls und der x -Axe und ψ der Winkel zwischen den beiden durch die Bewegungsrichtung des gegebenen Molecüls gehenden Ebenen, in welchen die Winkel φ und η liegen. Dann hat man:

$$(40) \quad \mu = \cos \eta \cos \varphi + \sin \eta \sin \varphi \cos \psi.$$

Zugleich kann man das Element $d\omega$ der Kugelfläche durch

$\sin \varphi \, d\varphi \, d\psi$ darstellen. Dadurch geht die Gleichung (33) über in:

$$(41) \quad \overline{R} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi} \iint d\varphi \, d\psi \sin \varphi \sqrt{1 - \cos \varphi} \left[u + \frac{1}{2} \delta - \frac{1}{2} q (\cos \eta \cos \varphi + \sin \eta \sin \varphi \cos \psi) \varepsilon \right],$$

worin die Integration nach ψ von 0 bis 2π und diejenige nach φ von 0 bis π auszuführen ist.

Durch Ausführung dieser Integrationen erhält man:

$$(IX) \quad \overline{R} = \frac{4}{3} (u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{10} q \cos \eta \cdot \varepsilon)'$$

§. 20. Diesen Ausdruck von \overline{R} müssen wir in die Gleichungen (31) und (32) einsetzen, um die Ausdrücke von a und α zu erhalten. Dadurch kommt, wenn wir zugleich für v wieder $u + \delta$ setzen:

$$(42) \quad a = \frac{4}{3} \pi \rho^2 N (u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{10} q \cos \eta \varepsilon)$$

$$(43) \quad \alpha = \frac{4}{3} \pi \rho^2 N \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\delta}{u} + \frac{1}{10} q \cos \eta \frac{\varepsilon}{u} \right).$$

Aus diesen Ausdrücken kann man noch die unbekannte GröÙe q eliminiren. Nimmt man nämlich als speciellen Fall an, sowohl das gegebene als auch alle übrigen vorhandenen Molecüle haben die Geschwindigkeit u , so hat man $\delta = 0$ und $q = 0$ zu setzen, und es kommt:

$$(44) \quad \alpha = \frac{4}{3} \pi \rho^2 N.$$

Ferner stellt nach §. 9 für diesen Fall, wo alle Molecüle gleiche Geschwindigkeiten haben, der Bruch $\frac{1}{\alpha}$ die mittlere Weglänge zwischen je zwei Zusammenstößen dar, und wir erhalten somit für die mittlere Weglänge den Ausdruck:

1) Ich habe in den obigen Rechnungen der größeren Uebersichtlichkeit wegen nur die Glieder erster Ordnung in Bezug auf ε berücksichtigt; indessen will ich von der vollständigeren Berechnung, bei der auch die Glieder zweiter Ordnung berücksichtigt sind, wenigstens das Resultat hier mittheilen, nämlich:

$$\overline{R} = \frac{4}{3} \left\{ u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{10} q \cos \eta \varepsilon + \frac{1}{4} \frac{\delta^2}{u} - \frac{1}{2} q \cos \eta \frac{\varepsilon^2}{u} + \frac{1}{5.7} \left[-6q^2 + 2q_1^2 + 6ru + \frac{1}{2} r'u^2 + \left(\frac{1}{2} q^2 + \frac{1}{4} q_1^2 - \frac{1}{2} ru - r'u^2 \right) \cos^2 \eta \right] \frac{\varepsilon^3}{u} \right\}.$$

$$\frac{3}{4} \frac{1}{\pi \rho^2 N^1}.$$

Um diesen Ausdruck noch weiter zu specialisiren, so daß er die *normale* mittlere Weglänge, welche wir mit ε bezeichnet haben, darstellt, brauchen wir nur für N , welches die Anzahl der in einer Raumeinheit enthaltenen Molecüle bedeutet, den speciellen Werth zu setzen, welcher dem Normalzustande des Gases entspricht, und welchen wir zum Unterschiede mit N_0 bezeichnen wollen, und wir erhalten also:

$$(45) \quad \varepsilon = \frac{3}{4} \frac{1}{\pi \rho^2 N_0}.$$

Eliminirt man mittelst dieser Gleichung die Größe ρ^2 aus den obigen Ausdrücken, so kommt:

$$(X) \quad \alpha = \frac{N}{N_0 \varepsilon} \left(u + \frac{1}{2} \delta + \frac{1}{10} q \cos \eta \varepsilon \right)$$

$$(XI) \quad \alpha = \frac{N}{N_0 \varepsilon} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\delta}{u} + \frac{1}{10} q \cos \eta \frac{\varepsilon}{u} \right).$$

Man sieht aus diesen Ausdrücken, daß die Größen α und α von der Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des gegebenen Molecüls abhängen, und daß sie ferner, da N und u Functionen von x sind, von der Lage der Schicht abhängen, in welcher man die Bewegung gerade betrachtet²⁾.

Mit Hülfe dieser Ausdrücke können wir nun die für unseren Zweck nöthigen Bestimmungen leicht ausführen.

§. 21. Wir wollen zu bestimmen suchen, wieviel Molecüle innerhalb unserer unendlich dünnen Schicht während

- 1) Diesen Werth der mittleren Weglänge für den Fall, wo alle Geschwindigkeiten gleich sind, habe ich schon in meiner früheren Abhandlung angeführt (Bd. CV, S. 249), ohne dort die Rechnung vollständig mitzutheilen.
- 2) Maxwell hat in seinen Rechnungen diese Abhängigkeit der Größe α von verschiedenen Umständen nicht genug berücksichtigt, indem er die Bewegungen der von einer unendlich dünnen Schicht ausgesandten Molecüle so behandelt, als ob der Werth von α für alle gleich und unveränderlich wäre. Es trifft sich zufällig, daß das hierdurch begangene Versehen im entgegengesetzten Sinne wirkt, wie das bei §. 5 erwähnte, so daß, wenigstens bei der Berechnung der Wärmeleitung, beide sich zum Theil compensiren.

der Zeiteinheit mit andern Molecülen zusammenstoßen, und wie groß die gesammte Bewegungsgröße dieser Molecüle ist.

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Molecül, welches sich in der Schicht bewegt, während des Zeitelementes dt ein anderes trifft, wird durch adt dargestellt, wenn man in dem Ausdrücke von a für $\cos \eta$ und δ die Werthe setzt, welche der Bewegungsrichtung und der Geschwindigkeit des betrachteten Molecüls entsprechen. Wenn man daher von einer gegebenen großen Anzahl von Molecülen die Anzahl derer, welche während der Zeit dt mit anderen zusammenstoßen, bestimmen will, so braucht man die ganze Anzahl der Molecüle nur mit adt zu multipliciren, wobei man, wenn der Werth a nicht für alle Molecüle gleich ist, den Mittelwerth anwenden muß. Betrachten wir nun die Molecüle, welche sich gleichzeitig in einem der Flächeneinheit entsprechenden Stücke unserer Schicht befinden, und richten unsere Aufmerksamkeit zunächst auf diejenigen, deren Cosinus zwischen μ und $\mu + d\mu$ liegen, so ist deren Anzahl $\frac{1}{2} N J d\mu dx$, und wenn wir diesen Ausdruck mit $\bar{a} dt$ multipliciren, worin \bar{a} den Mittelwerth von a für diese Molecüle bedeutet, so stellt das Product $\frac{1}{2} N J \bar{a} d\mu dx dt$ dem Vorigen nach die Anzahl derjenigen unter ihnen dar, welche während der Zeit dt mit anderen zusammenstoßen. Integriert man den letzten Ausdruck nach μ von -1 bis $+1$, so erhält man die Anzahl aller Molecüle, welche während der Zeit dt innerhalb der Schicht zusammenstoßen. Diesen Ausdruck braucht man dann nur noch durch dt zu dividiren, um die Anzahl der Molecüle zu erhalten, welche während der Zeiteinheit in der Schicht zusammenstoßen. Nennen wir diese Anzahl $M dx$, so ist

$$(46) \quad M = \frac{1}{2} N \int_{-1}^{+1} J \bar{a} d\mu.$$

Die hierin vorkommende Größe J ist schon bekannt, nämlich $1 - \frac{2}{u} \mu \epsilon$. Um die Größe \bar{a} zu erhalten, müssen wir in dem in Gleichung (X) gegebenen Ausdrücke von a

für $\cos \eta$ einfach μ setzen, und für δ müssen wir, da wir mit V die Geschwindigkeit eines Molecüls bezeichnet haben, $V - u$ setzen. Da nun die Molecüle, bei denen der Cosinus μ einen gewissen Werth hat, nicht alle gleiche Geschwindigkeit haben, so müssen wir, um den Mittelwerth \bar{a} zu erhalten, den Mittelwerth \bar{V} anwenden. Dieser ist nach (III) $u + q\mu\epsilon + \text{etc.}$, und wir erhalten daher für den Mittelwerth von δ unter Vernachlässigung der höheren Potenzen von ϵ die GröÙe $q\mu\epsilon$. Durch Einsetzung dieser GröÙen in die Gleichung (X) erhalten wir:

$$(47) \quad \bar{a} = \frac{N}{N_0\epsilon} (\mu + \frac{2}{3} q\mu\epsilon).$$

DemgemäÙ geht die Gleichung (46) über in:

$$M = \frac{1}{2} \frac{N^2}{N_0\epsilon} \int_{-1}^{+1} (u - \frac{2}{3} q\mu\epsilon) d\mu,$$

und durch Ausführung der Integration erhält man:

$$(48) \quad M = \frac{N^2 u}{N_0\epsilon}.$$

In entsprechender Weise kann man auch die gesammte positive BewegungsgröÙe der Molecüle, welche während der Zeiteinheit in der Schicht zusammenstoÙen, bestimmen. Die positive BewegungsgröÙe eines einzelnen Molecüls mit der Geschwindigkeit V und dem Cosinus μ ist $m\mu V$, und wir haben daher statt der GröÙe a das Product $m\mu Va$ anzuwenden, worin wir wieder von Va , wie vorher von der einfachen GröÙe a den Mittelwerth zu nehmen haben. Der Ausdruck der gesuchten BewegungsgröÙe ist also:

$$\frac{1}{2} dxmN \int_{-1}^{+1} J \bar{V} a \mu d\mu.$$

Setzen wir hierin ganz dem Vorigen entsprechend für J und $\bar{V}a$ ihre Werthe, so geht er über in:

$$\frac{1}{2} dxm \frac{N^2}{N_0\epsilon} \int_{-1}^{+1} (u^2 + \frac{2}{3} u q\mu\epsilon) \mu d\mu$$

und durch Ausführung der Integration entsteht daraus:

$\frac{1}{2} dx m \frac{N^2}{N_0} u q$,
 wofür wir unter Anwendung der Gleichung (48) auch schreiben können:

$$\frac{1}{2} dx m M q \varepsilon.$$

§. 22. Der letzte Ausdruck kann uns zur Bestimmung der Constanten q dienen.

Dieselben Molecüle, welche in der Schicht zusammenstoßen, sind es auch, welche nach den Stößen von der Schicht ausgesandt werden, und die gesammte Bewegungsgröße, welche diese Molecüle vor den Zusammenstößen hatten, muß auch nach den Stößen ungeändert geblieben seyn. Nun läßt sich aber die positive Bewegungsgröße der Molecüle, welche die Schicht aussendet, nach der früher eingeführten Bezeichnungsweise leicht ausdrücken. Wir haben nämlich gesehen, daß die Bewegungen dieser Molecüle sich dadurch darstellen lassen, daß man zuerst Bewegungen annimmt, welche nach allen Richtungen in gleicher Weise stattfinden, und dann allen Molecülen nach der positiven x -Richtung noch eine kleine Geschwindigkeitscomponente, die wir mit $p \varepsilon$ bezeichnet haben, mittheilt. Daraus folgt, daß, wenn $M dx$ die Anzahl der während der Zeiteinheit ausgesandten Molecüle bedeutet, dann die gesammte positive Bewegungsgröße derselben durch:

$$dx m M p \varepsilon$$

dargestellt wird.

Vergleichen wir diesen Ausdruck mit dem vorher gefundenen, so erhalten wir:

$$dx m M p \varepsilon = \frac{1}{2} dx m M q \varepsilon$$

und daher:

$$(49) \quad p = \frac{1}{2} q.$$

Mit diesem Resultate wenden wir uns zurück zur ersten der Gleichungen (19), welche lautet:

$$q = p - c \frac{du}{dx},$$

und durch Anwendung der vorigen Gleichung übergeht in:

$$(50) \quad q = -\frac{1}{2} c \frac{du}{dx}.$$

Die hierin vorkommende Gröfse c ergibt sich aus dem Bisherigen folgendermaßen. Nach Gleichung (15) ist:

$$\frac{1}{\alpha_0} = c\varepsilon,$$

worin α_0 denjenigen speciellen Werth von α bedeutet, welcher für die Molecüle gilt, die sich senkrecht zur x -Axe bewegen, und welchen man erhält, wenn man in Gleichung (XI) δ und $\cos \eta$ gleich Null setzt, nämlich

$$\alpha_0 = \frac{N}{N_0\varepsilon}.$$

Nach Einsetzung dieses Werthes erhält man aus der vorigen Gleichung:

$$(51) \quad c = \frac{N_0}{N}.$$

Dadurch geht (50) über in:

$$(XII) \quad q = -\frac{1}{4} \frac{N_0}{N} \frac{du}{dx}.$$

Mit dem Coëfficienten q ist in Folge der Gleichung (22) zugleich auch der Coëfficient q' bestimmt, und dadurch sind in den Gleichungen (III) und (IV), welche die Art der Bewegung der gleichzeitig in einer Schicht befindlichen Molecüle ausdrücken, die Reihen soweit bekannt, wie es für unsere Zwecke nöthig ist, nämlich in jeder Reihe, aufser dem von ε unabhängigen Gliede, noch das Glied erster Ordnung²⁾.

- 1) Wenn man die Rechnungen vollständiger ausführt, als oben geschehen ist, indem man überall noch die nächsthöhere Potenz von ε mit berücksichtigt, so findet man, daß die oben für die Anzahl und Bewegungsgröfse der in einer Schicht zusammenstossenden Molecüle, und für die Gröfse q gefundenen Ausdrücke soweit richtig sind, daß überall nur eine Gröfse von der Ordnung ε^2 gegen die Einheit vernachlässigt ist.
- 2) In den Gliedern zweiter Ordnung kommen die Gröfßen q^2 , r und r' vor, welche man bei weiterer Ausführung der Rechnungen in ähnlicher Weise bestimmen kann, wie q . Ohne auf diese Erweiterung der Rechnungen, welche dem Princip nach durchaus keine Schwierigkeit darbietet, hier einzugehen, will ich nur die daraus hervorgehenden Werthe jener Gröfßen kurz auführen, nämlich:

$$q^2 = \frac{41}{25} q^2$$

$$r = -\frac{31}{50} q^2$$

$$r' = \frac{266}{17.25} q^2.$$

VI. Endresultate.

§. 23. Nachdem im Vorigen die nöthigen Coëfficienten bestimmt sind, können wir nun dazu schreiten, aus den aufgestellten Gleichungen Schlüsse über den Zustand des Gases und die in demselben stattfindende Wärmeleitung zu ziehen.

Wir haben in §. 16 gefunden, daß q eine constante Gröfse seyn muß, und wir können daher, wenn wir für q seinen Werth setzen, schreiben:

$$\frac{1}{N} \frac{du}{dx} = \text{Const.}$$

Ferner wissen wir aus demselben §., daß

$$Nu^2 = \text{Const.}$$

ist, und durch Multiplication dieser beiden Gleichungen erhalten wir:

$$(52) \quad u^2 \frac{du}{dx} = \text{Const.}$$

Da nun die Gröfse u^2 der absoluten Temperatur T proportional ist, so kann man setzen:

$$u = \text{Const.} \sqrt{T},$$

und dadurch geht die vorige Gleichung über in:

$$(53) \quad \sqrt{T} \frac{dT}{dx} = \text{Const.}$$

Durch Integration dieser Gleichung erhält man eine Gleichung von der Form

$$(54) \quad T^{\frac{3}{2}} = Cx + C_1,$$

worin C und C_1 Constante sind.

Die zwischen zwei Wänden von gegebenen Temperaturen eingeschlossene Gasmasse nimmt also nicht, wie man vielleicht auf den ersten Blick vermuthen könnte, einen solchen Zustand an, daß die Temperatur eine lineare Function der Abscisse bildet, sondern die Temperaturveränderung von der einen Gränzfläche zur anderen findet nach einem etwas complicirteren Gesetze statt, indem die Potenz $T^{\frac{3}{2}}$ durch eine lineare Function der Abscisse dargestellt wird.

Wenn in der Gleichung (54) die Constanten C und C_1 mit Hülfe der beiden gegebenen Temperaturen der Gränz-

flächen bestimmt sind, so kann man für jeden anderen Punkt des Gases die Temperatur berechnen. Da ferner das Product aus Temperatur und Dichtigkeit innerhalb des Gases constant seyn muß, so kann man, wenn für einen Punkt die Dichtigkeit gegeben ist, für alle übrigen Punkte die Dichtigkeit aus der Temperatur berechnen, und es ist somit der Zustand des Gases in Bezug auf Temperatur, Dichtigkeit und Druck vollständig bekannt.

§. 24. Für die im Gase stattfindende Wärmeleitung G erhalten wir durch Einsetzung des gefundenen Werthes von q in die Gleichung (VIII) folgende Gleichung:

$$(XIII) \quad G = -\frac{1}{12} km N_0 u^2 \frac{du}{dx} \epsilon^1).$$

1) Maxwell giebt für die lebendige Kraft, welche vermöge der Molecularbewegungen während der Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit einer auf der x -Axe senkrechten Ebene in positiver Richtung hindurchgeht, folgenden Ausdruck (*Phil. Mag. V. XX, p. 32*):

$$(A) \quad G = -\frac{1}{2} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} km u^3 N u l \right),$$

worin l die mittlere Weglänge der Molecüle bei der Dichtigkeit, welche das Gas an der betrachteten Stelle hat, bedeutet. Setzen wir für l seinen Werth:

$$l = \frac{N_0}{N} \epsilon,$$

so kommt:

$$G = -\frac{1}{2} \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} km N_0 u^3 \epsilon \right) = -\frac{1}{2} km N_0 u^3 \frac{du}{dx} \epsilon.$$

Dieser Ausdruck ist von dem obigen nur dadurch verschieden, daß $\frac{1}{2}$ an der Stelle von $\frac{1}{12}$ steht. Verfolgt man aber den Weg, auf welchem Maxwell zu der Gleichung (A) gelangt ist, so findet man, daß diese angenäherte Uebereinstimmung seines Resultates mit dem meinigen nur eine scheinbare ist.

Wenn E die Masse des Gases bedeutet, welche während einer Zeiteinheit durch jene Flächeneinheit in positiver Richtung hindurchgeht, so hat Maxwell folgende Gleichung aufgestellt (a. a. O. S. 23):

$$(B) \quad E = -\frac{1}{2} \frac{d}{dx} (m N u l).$$

In dieser Gleichung hat er dann, um statt der hindurchgehenden Masse die hindurchgehende lebendige Kraft zu erhalten, einfach an die Stelle der Masse m eines Molecüls die lebendige Kraft $\frac{1}{2} km u^2$ eines Molecüls gesetzt, und dadurch hat er die Gleichung (A) gewonnen. Be-

Diese Gleichung wollen wir zum bequemeren Gebrauche noch etwas umgestalten. Sey für den Normalzustand des Gases die Geschwindigkeit der Molecüle mit u_0 und die absolute Temperatur mit T_0 bezeichnet, so hat man:

$$\frac{u^2}{u_0^2} = \frac{T}{T_0}$$

und daher:

$$(55) \quad u = \frac{u_0}{\sqrt{T_0}} \sqrt{T}.$$

Dadurch geht die vorige Gleichung über in:

$$(56) \quad G = - \frac{5}{24} \frac{km N_0 u_0^2 \epsilon}{T_0} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \frac{dT}{dx}.$$

Nehmen wir als Temperatur des Normalzustandes den Ge-

trachten wir nun die Gleichung (B) näher, und substituiren darin ebenfalls für l seinen Werth $\frac{N_0}{N} \epsilon$, so kommt:

$$E = - \frac{1}{2} \frac{d}{dx} (m N_0 u \epsilon) = - \frac{1}{2} m N_0 \frac{du}{dx} \epsilon.$$

Diese Gleichung sagt aus, dafs, wenn die Temperatur des Gases sich in der x -Richtung ändert, so dafs $\frac{du}{dx}$ einen angebbaren Werth hat, eine Fortbewegung von Masse nach der x -Richtung stattfinden mufs, indem mehr Molecüle in einer Richtung durch die Ebene gehen, als in der entgegengesetzten. Sie steht also mit der Voraussetzung, welche wir machen müssen, wenn wir von Wärmeleitung sprechen, im Widerspruche, denn unter Wärmeleitung versteht man eine Fortbewegung der Wärme ohne Fortbewegung der Masse.

Man mufs demnach, abgesehen davon, ob die Gleichung (B) überhaupt zulässig ist, nothwendig eins von beiden schliessen: entweder Maxwell hat bei der Aufstellung seiner Gleichungen einen ganz anderen Zustand im Auge gehabt, als den, welchen wir bei der Wärmeleitung voraussetzen, nämlich einen solchen, bei dem die Gasmasse sich nach bestimmter Richtung fortbewegt; in diesem Falle stellt seine Gleichung (A) nicht das dar, was wir unter Wärmeleitung verstehen, und was durch meine Gleichung (XIII) dargestellt wird, sondern eine mit Massenbewegung verbundene und zum Theil durch dieselbe vermittelte Wärmebewegung; oder Maxwell hat wirklich jenen Zustand, bei dem Wärmebewegung ohne Massenbewegung stattfindet, gemeint, dann ist die Gleichung (B) falsch, und die daraus abgeleitete Gleichung (A) ist nur dadurch angenähert richtig geworden, dafs zwei Fehler sich gegenseitig theilweise aufgehoben haben.

frierpunkt an, so ist angenähert $T_0 = 273$ und $T = 273 + t$, worin t die vom Gefrierpunkt ab gezählte Temperatur bedeutet. Bezeichnen wir ferner, wie es gewöhnlich geschieht, den Ausdehnungscoefficienten der permanenten Gase, nämlich $\frac{1}{273}$ mit α , so können wir schreiben:

$$(XIV) \quad G = -\frac{5}{273} \frac{km N_0 u_0^2 e}{273} \sqrt{1 + \alpha t} \frac{dt}{dx}.$$

Führen wir hierin endlich das Zeichen K ein mit der Bedeutung:

$$(XV) \quad K = \frac{5}{273} \frac{km N_0 u_0^2 e}{273},$$

so lautet unsere Gleichung:

$$(XVI) \quad G = -K \sqrt{1 + \alpha t} \frac{dt}{dx}.$$

§. 25. Der Faktor K enthält nur solche Größen, die sich auf den Normalzustand des Gases beziehen, und er ist daher eine nur von der Natur der betrachteten Gasart abhängige Constante. Demnach lassen sich aus der Form der letzten Gleichung sofort zwei allgemeine Schlüsse ziehen.

Erstens: Für einen gegebenen Werth von $\frac{dt}{dx}$ wächst die Wärmeleitung mit der Temperatur, welche das Gas an der betrachteten Stelle hat, und zwar in demselben Verhältnisse, wie die Schallgeschwindigkeit mit der Temperatur wächst, nämlich proportional der GröÙe $\sqrt{1 + \alpha t}$.

Zweitens: Die Wärmeleitung ist unabhängig von dem Drucke, unter dem das leitende Gas steht. Dieses erklärt sich daraus, daß bei einem durch größeren Druck verdichteten Gase zwar die Anzahl der Molecüle, welche die Wärme übertragen können, größer ist, dafür aber die Wege der einzelnen Molecüle kleiner sind.

Dieser letzte Satz könnte zu Ungereimtheiten führen, wenn man annehmen wollte, daß er bis zu jeder beliebigen Verdichtung und Verdünnung des Gases gültig sey. Man muß aber bedenken, daß die Anwendung des Satzes auf solche Zustände, die sehr weit vom Mittelzustande abwei-

chen, ihre selbstverständlichen Gränzen hat, indem das Gas einerseits nicht soweit verdichtet seyn darf, daß dadurch zu starke Abweichungen von den Gesetzen vollkommener Gase, welche der ganzen Entwicklung zu Grunde liegen, eintreten; und andererseits nicht soweit verdünnt seyn darf, daß die mittlere Weglänge der Molecüle zu groß wird, um ihre höheren Potenzen vernachlässigen zu können.

§. 26. Zur numerischen Berechnung der im Obigen entwickelten Formeln wird es nöthig, noch einmal auf den im §. 7 erwähnten Punkt zurückzukommen, nämlich auf die zufälligen Verschiedenheiten, welche unter den Geschwindigkeiten der Molecüle selbst dann vorkommen, wenn die Temperatur und Dichtigkeit des Gases überall gleich ist.

Hiernach muß man der Größe u , welche in den Formeln für die Bewegung der Molecüle vorkommt, und die Geschwindigkeit derselben für den Fall darstellt, wo keine Unterschiede der Temperatur und Dichtigkeit vorkommen, nicht einen bestimmten für alle Molecüle geltenden Werth, sondern verschiedene Werthe, die von einem Molecül zum anderen in manichfaltiger Weise wechseln, zuschreiben; und dasselbe gilt dann auch von anderen, von der Geschwindigkeit abhängigen Größen, wie z. B. von der in den §§. 8 u. f. vorkommenden Weglänge s , welche für Molecüle mit größeren Geschwindigkeiten durchschnittlich etwas größer seyn muß, als für Molecüle mit kleineren Geschwindigkeiten. Es kommt dann darauf an, für diese Größen, soweit sie in den Formeln vorkommen, Mittelwerthe aufzustellen, welche in der Weise bestimmt seyn müssen, daß die Formeln durch sie dieselben Werthe annehmen, die man erhalten würde, wenn man für jedes Molecül die wirklich stattfindende Geschwindigkeit in Rechnung brächte.

Um diese Mittelwerthe in der richtigen Weise berechnen zu können, müßte man das Gesetz kennen, welches für die verschiedenen vorkommenden Geschwindigkeiten gilt. Ein solches Gesetz ist, wie ich schon oben erwähnt habe, von Maxwell aufgestellt, und dieses könnte man

vielleicht zur Berechnung der Mittelwerthe anwenden *). Ich möchte aber hier auf diesen Gegenstand nicht eingehen, weil dazu einige Bemerkungen über jenes Gesetz erforderlich wären, die hier zu weit führen würden; und ich glaube um so mehr davon absehen zu können, als der numerische Werth von ε noch so wenig bekannt ist, daß eine genaue numerische Berechnung der Formeln, in welchen ε vorkommt, doch nicht möglich ist. Ich will mich daher zur Berechnung der Wärmeleitung damit begnügen, in der obigen Formel, welche unter Vernachlässigung der zufälligen Verschiedenheiten abgeleitet ist, einen Mittelwerth der Geschwindigkeit anzuwenden, welcher sich leicht finden läßt, und welcher, wenn er auch, streng genommen, nicht der richtige ist, doch bei der Unsicherheit, die über den Werth von ε noch herrscht, als genau genug betrachtet werden kann.

§. 27. Wir wollen nämlich für u denjenigen Mittelwerth anwenden, welcher dieselbe lebendige Kraft giebt, wie die wirklich stattfindenden Geschwindigkeiten, und wel-

- 1) Ich muß hierbei bemerken, daß diese Rechnung nicht ganz so einfach seyn würde, wie es auf den ersten Blick vielleicht scheint. Es ist nämlich zu beachten, was auch im Obigen bei ähnlicher Gelegenheit schon zur Sprache gekommen ist, daß der Mittelwerth einer Potenz von u nicht gleichbedeutend ist mit der entsprechenden Potenz des Mittelwerthes von u ; und ebenso bei Potenzen anderer von u abhängiger Größen oder bei Producten aus solchen Größen. Betrachtet man nun z. B. folgende Reihe von Ausdrücken, bei welchen, wie früher, zur Bezeichnung der Mittelwerthe der wagerechte Strich angewandt ist:

$$\bar{u}^2; (\bar{u})^2; a\bar{u}^2 + (1-a)(\bar{u})^2; \frac{\bar{u}^{n+2}}{\bar{u}^n} \text{ etc.},$$

so sieht man leicht, daß sie für den Fall, wo alle vorkommenden Werthe von u gleich wären, die gemeinsame Form u^2 annehmen würden, während sie, wenn verschiedene Werthe von u vorkommen, nicht unter einander übereinstimmen. Wenn daher in irgend einer Formel, welche unter der Voraussetzung gleicher Werthe von u abgeleitet ist, u^2 vorkommt, so kann man nicht ohne Weiteres wissen, welchen der oben angedeuteten Mittelwerthe man dafür zu nehmen hat, sondern muß, um darüber entscheiden zu können, die ganze Entwicklung der Formel verfolgen.

chen man erhält, wenn man aus den Quadraten der Geschwindigkeiten das arithmetische Mittel nimmt, und daraus die Quadratwurzel zieht.

In diesem Falle hat das Product $\frac{1}{2} k N_0 m u_0^2$ eine einfache Bedeutung. Es stellt nämlich die in einer Volumeneinheit des Gases im Normalzustande enthaltene lebendige Kraft, oder die darin enthaltene Wärmemenge dar. Diese Wärme wird, wenn γ die spezifische Wärme einer Volumeneinheit des Gases bei constantem Volumen ist, durch γT_0 , oder, wenn als Normaltemperatur T_0 der Gefrierpunkt genommen ist, angenähert durch $\gamma \cdot 273$ ausgedrückt, und die Gleichung (XV) geht dadurch über in:

$$(57) \quad K = \frac{5}{12} \gamma u_0^2,$$

und zwar wird durch Anwendung dieser Formel, wenn γ in gewöhnlichen Wärmeeinheiten ausgedrückt ist, auch die Wärmeleitung in gewöhnlichen Wärmeeinheiten ausgedrückt. Die GröÙe u_0 ergibt sich aus der früher schon von mir aufgestellten Formel für die Bewegungsgeschwindigkeit der Molecule ¹⁾ folgendermaßen:

$$(58) \quad u_0 = \frac{485^m}{\sqrt{\sigma}},$$

worin σ das spezifische Gewicht des betreffenden Gases, verglichen mit atmosphärischer Luft, bedeutet. Dadurch geht die vorige Gleichung über in:

$$(XVII) \quad K = 202,1 \frac{\gamma}{\sqrt{\sigma}} \varepsilon.$$

Für die einfachen permanenten Gase, und für solche zusammengesetzte Gase, welche bei der Verbindung keine Volumenverminderung erlitten haben, hat die spezifische Wärme γ denselben Werth, wie für die atmosphärische Luft, nämlich, wenn als Volumeneinheit ein Cubikmeter genommen wird, welcher 1,2932 Kil. atmosphärischer Luft im Normalzustande enthält:

$$(59) \quad \gamma = 0,1686 \cdot 1,2932 = 0,21803.$$

Durch Anwendung dieses Werthes erhält man für die genannten Gase:

1) Diese Annalen Bd. C, S. 377.

$$(XVIII) \quad K = \frac{44,06}{\sqrt{\sigma}} \varepsilon.$$

Hieraus ergeben sich für die drei einfachen permanenten Gase und für die atmosphärische Luft, welche in Bezug auf die Wärmeleitung wie ein einfaches Gas zu behandeln ist, folgende Werthe von K :

für atmosph. Luft	44,06 . ε
» Sauerstoff	41,90 . ε
» Stickstoff	44,71 . ε
» Wasserstoff	167,49 . ε .

Zur vollständigen numerischen Bestimmung dieser Werthe müßte noch der Factor ε bekannt seyn. Eine unmittelbare theoretische Berechnung dieser GröÙe nach den oben auseinander gesetzten Principien ist deshalb nicht möglich, weil dazu der Radius der Wirkungssphäre ρ bekannt seyn müßte; man muß daher zur Bestimmung von ε andere Data anwenden. Maxwell hat aus Angaben über die Reibung bewegter Luftmassen und über die Diffusion der Gase die mittlere Weglänge der Molecüle berechnet, und hat in beiden Fällen Zahlen gefunden, die nicht weit von

$$\frac{1}{400000} \text{ engl. Zoll oder } \frac{1}{16000000} \text{ Meter}$$

abweichen. Ohne mich hier über den Grad der Zuverlässigkeit dieser Zahl auszusprechen, glaube ich doch, daß wir sie anwenden können, um einen ungefähren Begriff von der Art der GröÙen, um die es sich handelt, zu bekommen. Durch Einsetzung dieses Werthes erhalten wir für atmosphärische Luft

$$(60) \quad K = \frac{44}{16000000} = \frac{11}{4000000}.$$

Diese GröÙe bedeutet die Wärmemenge, in gewöhnlichen Wärmeeinheiten ausgedrückt, welche während einer Sekunde durch eine Fläche von einem Quadratmeter gehen würde, wenn $\frac{dt}{dx} = -1$ wäre, d. h. wenn in der Nähe der betrachteten Stelle die Temperatur nach der Richtung der Abscissenaxe in der Weise abnähme, daß, wenn dieselbe Ab-

nahme auf einer grösseren Strecke stattfände, auf der Länge von 1^m die Temperatur um 1° C. abnehmen würde.

§. 28. Um diese Wärmeleitung mit derjenigen der Metalle zu vergleichen, können wir ein Beobachtungsergebnis von Peclet anwenden. Dieser hat durch Beobachtung der Wärmemenge, welche durch eine Bleiplatte ging, gefunden, daß, wenn eine große Bleimasse in einen solchen Zustand versetzt würde, daß auf der Strecke von 1^m die Temperatur um 1° C. abnähme, dann während einer Stunde durch eine Fläche von einem Quadratmeter 14 Wärmeeinheiten gehen würden¹⁾. Um diese Zahl mit der für Luft gefundenen zu vergleichen, müssen wir die letztere, da sie sich auf eine Sekunde als Zeiteinheit bezieht, mit der Anzahl der Sekunden, welche in einer Stunde enthalten sind, multipliciren, wodurch wir erhalten:

$$\frac{11.3600}{4000000} = \frac{1}{100}.$$

Diese Rechnung führt also zu einer Wärmeleitung, welche 1400 mal kleiner ist, als die des Bleis²⁾.

Wenn der Grad der Genauigkeit dieser Zahl auch gering ist, so daß sie nur als ein ungefährer Werth gelten kann, so wird man doch soviel dadurch als erwiesen ansehen können, daß die Wärmeleitung, welche man aus der dieser Abhandlung zu Grunde liegenden Hypothese über die Molecularbewegungen der Gase theoretisch ableiten kann,

1) *Traité de la chaleur*, V. I, p. 391.

2) Maxwell hat ein ganz anderes Resultat gefunden, nämlich, daß die Luft zehn Millionen mal schlechter leite, als Kupfer. Das beruht aber nur darauf, daß in seiner numerischen Rechnung zwei Versehen vorkommen. Erstens wendet er statt der von Peclet gegebenen Zahlen, welche die Leitungsfähigkeit der Metalle in französischen Maassen angeben, Zahlen an, die Rankine daraus für den Leitungswiderstand in englischen Maassen berechnet hat, (*Manual of the Steam Engine*, p. 259). Diese Zahlen sind aber nicht ganz richtig, sondern sie müssen noch mit 0,4536, dem Verhältniß von 1 engl. Pfd. zu 1 Kil., multiplicirt werden, um den Peclet'schen Zahlen zu entsprechen. Ferner hat Maxwell die Zahlen, welche sich auf eine Stunde als Zeiteinheit beziehen, so angewandt, als ob sie sich auf eine Sekunde bezögen.

viel geringer ist, als die der Metalle, ein Resultat, welches ganz der Erfahrung entspricht. Der Einwurf, diese Hypothese führe zu einer so schnellen Verbreitung der Wärme, daß lokale Temperaturverschiedenheiten in der Gasmasse nicht möglich seyen, ist also vollständig ungegründet. Ja man kann hiernach sogar dieselbe Erscheinung, welche mit besonderem Nachdrucke gegen die Hypothese geltend gemacht wurde, als einen neuen Bestätigungsgrund für die Hypothese anführen.

§. 29. Die gefundenen Ausdrücke von K gestatten auch eine ungefähre Vergleichung verschiedener Gase unter einander in Bezug auf ihre Wärmeleitung.

In dem Ausdrucke (XVII) ist das specifische Gewicht σ hinlänglich bekannt, und die specifische Wärme γ läßt sich aus den Versuchen von Regnault angenähert berechnen. Betrachten wir insbesondere die einfachen und solche zusammengesetzte Gase, die bei der Verbindung keine Volumverminderung erlitten haben, so kann man bei diesen, wie schon gesagt, γ als gleich annehmen, und der Ausdruck für K nimmt dadurch die Form (XVIII) an, welche ausser einem Zahlenfactor nur den Bruch $\frac{\epsilon}{\sqrt{\sigma}}$ enthält.

Die Gröfse ϵ , die mittlere Weglänge der Molecüle, braucht für verschiedene Gase nicht gleich zu seyn, und wir wissen nicht, wie die Weglängen bei verschiedenen Gasen sich unter einander verhalten. Indessen ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, daß sie für leichtere Gase kleiner sey als für schwerere, denn sie ist dem Radius der Wirkungssphäre umgekehrt proportional, und man wird schwerlich den leichteren Molecülen gröfsere Wirkungssphären zuschreiben, als den schwereren. Wenn demnach ϵ für leichtere Gase nicht kleiner ist, so muß der Bruch $\frac{\epsilon}{\sqrt{\sigma}}$ und somit das Wärmeleitungsvermögen bei ihnen gröfser seyn, als bei schwereren Gasen.

Dieses Resultat stimmt vollkommen mit den bisher bekannten Beobachtungsergebnissen überein, und insbesondere

mit den Ergebnissen der schönen Untersuchung von Magnus, in welcher die Strömungen der Gase, welche bei den Versuchen von Dulong und Petit gleichzeitig mit der eigentlichen Wärmeleitung stattgefunden haben, vermieden sind. Aus diesen Versuchen ergibt sich besonders auffällig, daß das leichteste Gas, das Wasserstoffgas, bedeutend besser leitet als die übrigen Gase.

§. 30. Fassen wir zum Schlusse kurz die gewonnenen Resultate zusammen, so können wir dieselben folgendermaßen aussprechen.

1) Die Gase leiten die Wärme bedeutend schlechter, als die Metalle. Eine ungefähre numerische Rechnung, bei welcher der von Maxwell für die mittlere Weglänge der Moleküle berechnete Werth angewandt ist, ergibt für die atmosphärische Luft in der Nähe des Gefrierpunktes ein Leitungsvermögen, welches 1400 mal kleiner ist, als das des Bleis.

2) Die Wärmeleitung ist von der Temperatur des Gases abhängig, und wächst mit der Temperatur in demselben Verhältnisse, wie die Schallgeschwindigkeit.

3) Die Wärmeleitung ist von dem Drucke, unter welchem das Gas steht, innerhalb gewisser Gränzen unabhängig.

4) Das Wärmeleitungsvermögen ist bei leichteren Gasen größer, als bei schwereren, und muß daher insbesondere beim Wasserstoff bedeutend größer seyn, als bei allen anderen Gasen.

Zürich, October 1861.

II. *Maafsbestimmungen der elektromotorischen Kräfte; von W. Hankel.*

(Aus den Berichten der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften für 1861, vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Die Erklärung der Entstehung eines galvanischen Stromes setzt eine genaue Kenntniß der sogenannten elektromotorischen Kräfte oder der durch die Berührung heterogener Leiter hervorgerufenen elektrischen Spannungen voraus. Leider fehlen aber bis jetzt ausgedehntere Untersuchungen, aus denen sich die betreffenden Zahlenwerthe mit Sicherheit entnehmen ließen. Um diesen Mangel abzustellen, habe ich mich seit mehreren Jahren mit der Messung jener Spannungen beschäftigt, und die Versuche nicht bloß auf die Berührung der festen Leiter untereinander, sondern auch auf das Verhalten der flüssigen Leiter gegen feste ausgedehnt.

Ich erlaube mir, der Königl. Gesellschaft heute einen Theil der hiebei gewonnenen Resultate, nämlich die Werthe der bei Berührung fester Leiter unter einander entstehenden Spannungen vorzulegen, indem ich mir vorbehalte, die auf das Verhalten der Flüssigkeiten bezüglichen Beobachtungen baldigst folgen zu lassen. Da jedoch die Zeit ein näheres Eingehen auf Einzelnes nicht gestattet, so begnüge ich mich hier mit einer Angabe des Inhaltes der Abhandlung im Allgemeinen.

Die vorliegende Abhandlung (die fünfte in der Reihe meiner elektrischen Untersuchungen)¹⁾ beginnt mit der Erläuterung des von mir zur Bestimmung der elektromotorischen Kräfte sowohl zwischen festen, als auch zwischen flüssigen Leitern angewandten Verfahrens. Zur Messung des gegenseitigen Verhaltens der festen Leiter bei Ausschluss

1) Abgedruckt in den Abhandlungen der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften Bd. IX, S. 1 bis 52.

aller Flüssigkeiten vermag nur eine Condensatorvorrichtung zu führen, die sich auch ohne wesentliche Schwierigkeit so herstellen läßt, daß die Beobachtungen jede gewünschte Sicherheit und Genauigkeit erhalten. Der von mir construirte Apparat bestand zunächst aus einer auf beiden Seiten eben-
 geschliffenen kreisförmigen Kupferplatte von 95^{mm} Durchmesser, die isolirt an drei Drähten hing und mittelst derselben ohne seitliches Schwanken vertical auf- und niederbewegt werden konnte. Gerade unter ihr war feststehend eine zweite Kupferplatte von gleicher Größe und Beschaffenheit angebracht, die je nach den Umständen mit der Erde leitend verbunden oder isolirt werden konnte; auf diese zweite Kupferplatte wurden die gleichfalls ebengeschliffenen Platten von 95^{mm} Durchmesser gelegt, deren elektrisches Verhalten oder deren Ort in der sogenannten Spannungsreihe bestimmt werden sollte. Beide Platten, die obere an den Drähten hängende und die unterhalb derselben hingelegte, wurden mittelst empfindlicher Wasserwaagen horizontal gestellt, wozu die oberen Befestigungspunkte der drei Drähte sowie der Träger der unteren Platte die geeigneten Vorrichtungen darboten; das Auf- und Abbewegen der oberen Platte störte ihre einmal hergestellte Horizontalität nicht. Durch eine besondere Einrichtung war es möglich die obere Platte der unteren auf jeden beliebig kleinen Abstand, dessen Größe durch ein seitwärts stehendes Mikroskop mit Ocularmikrometer gemessen werden konnte, zu nähern und in demselben festzuhalten: Sollten die infolge der Berührung von Flüssigkeiten mit Metallen erregten elektrischen Spannungen ermittelt werden, so ward an die Stelle der unteren Metallplatte die kreisförmige Oberfläche einer Flüssigkeit von gleichem Durchmesser mit den Platten gebracht. Die obere an den Drähten hängende Kupferplatte stand durch einen sehr feinen spiralförmig gewundenen Platindraht, der aber ihre Auf- und Abbewegung durchaus nicht behinderte, mit einem Meßapparate für freie Elektrizität in continuirlicher Verbindung.

Als solcher Messapparat diene das von mir construirte und bereits vor vielen Jahren beschriebene ¹⁾ Elektrometer; dasselbe besteht im Allgemeinen aus einem Goldblättchen, das zwischen zwei isolirten und durch Mikrometerschrauben verstellbaren Messingscheiben hängt, denen von den Polen einer in ihrer Mitte zur Erde geleiteten und aus ungefähr 60 kleinen Elementen (Zink, Kupfer, Wasser) bestehenden Volta'schen Säule entgegengesetzte elektrische Spannungen ertheilt werden. Der Ausschlag, welchen das Goldblättchen zeigt, sobald ihm Elektrizität mitgetheilt wird, kann durch ein mit Ocularmikrometer versehenes Mikroskop gemessen werden. Ein in die Verbindung der Säulenpole mit den Scheiben eingeschalteter Commutator macht es möglich, die Polarität in den Scheiben zu verwechseln; beim Umlegen desselben giebt das Goldblättchen den doppelten Ausschlag; durch wiederholtes Umlegen läßt sich dieser Ausschlag beliebig oft beobachten und die Messung zugleich von einer möglicherweise eingetretenen Aenderung in der ursprünglichen Lage des Goldblättchens befreien. Es hat mir zweckmäßig geschienen, der vorliegenden Abhandlung einige Bemerkungen über die Justirung und Behandlung dieses Instrumentes beizufügen.

Das Verfahren zur Bestimmung des Ortes der verschiedenen Metalle in der Spannungsreihe bestand nun darin, daß ich alle Metallplatten mit der oberen an den Drähten hängenden Kupferplatte verglich: sämtliche Metallplatten wurden nämlich der Reihe nach auf die untere Kupferplatte gelegt, die obere Kupferplatte ihnen bis zu einem bestimmten Abstände (gewöhnlich 0,94^{mm}) genähert, dann sowohl die obere als auch die untere Platte zur Erde abgeleitet, darauf die obere wieder isolirt und schließlichs bis auf 330^{mm} von der unteren entfernt. Die in der oberen Platte condensirt gewesene Elektrizität verbreitete sich über die Platte

1) Berichte der Gesellschaft für 1860, S. 71; Pogg. Ann. Bd. 84, S. 28; Abhandlungen der Gesellschaft Bd. V, S. 393.

tinspirale und das Goldblättchen des Elektrometers, an welchem die Spannung der mitgetheilten Elektrizität in zuvor angedeuteter Weise gemessen werden konnte. Ich zeige in der Abhandlung, daß eine einzige solche Messung, wobei z. B. die untere Platte aus Zink und die obere aus Kupfer besteht, nicht als ein Maass für die Gröfse des Unterschiedes zwischen Zink und Kupfer in elektrischer Beziehung betrachtet werden darf; daß wir dagegen bei sonst unveränderten Umständen vergleichbare Werthe für diese elektrischen Unterschiede erhalten, wenn wir die Differenzen je zweier Ausschläge nehmen, welche die Metalle, wenn sie der Reihe nach auf die untere Platte gelegt werden, bei dem zuvor beschriebenen Verfahren hervorrufen.

Die Spannungsverhältnisse sind je nach dem Zustande der Reinheit der Oberfläche sehr verschieden; ich habe deshalb dieselben sowohl für möglichst reine als auch für mehr oder weniger durch längeres Liegen an der Luft veränderte Oberflächen gemessen. Es hält sehr schwer, völlig reine Flächen zu erhalten; ich glaube, daß es mir durch Scheuern mit Smirgelpapier von verschiedenen Feinheiten und kräftiges Abreiben mittelst eines leinenen Tuches gelungen ist, solche Flächen darzustellen; Flüssigkeiten sind beim Putzen unbedingt zu vermeiden.

Mit Uebergehen aller Einzelheiten der Messungen will ich nur noch zwei Tabellen mittheilen.

Die erste enthält die Spannungen, welche die in derselben genannten Metalle bei reinem Oberflächenzustande zeigen. Ich werde die beiden Metalle, deren Berührung die betreffende Spannung erzeugt, durch Nebeneinanderstellen ihrer chemischen Zeichen andeuten, und dabei stets dasjenige Metall, welches durch die Berührung mit dem andern Metalle positiv elektrisch wird, voranstellen. Dabei wird es aus practischen Rücksichten am zweckmäfsigsten seyn, die Spannung zwischen Zink und Kupfer, als $Zn\ Cu = 1,00$ zu setzen, und alle übrigen Spannungen in dieser Einheit auszudrücken.

		Al Zn = 0,25	Zn Cu	
		Zn Sn = 0,23	"	
		Zn Cd = 0,24	"	
		Zn Pb = 0,44	"	
		Zn Sb = 0,69	"	
		Zn Bi = 0,72	"	
		Zn Hg = 0,81	"	
		Zn Fe = 0,84	"	
		Zn Cu = 1,00	"	
		Zn Au = 1,00	"	
		Zn Pd = 1,15	"	
		Zn Ag = 1,18	"	
		Zn C = 1,22	"	
		Zn Pt = 1,23	"	

Die meisten Metalle wurden möglichst rein aus dem Handel genommen; das Silber war vollkommen chemisch rein, das Antimon durch Schmelzen mit Salpeter gereinigt. Die Goldplatte bestand aus einer galvanisch vergoldeten Kupferplatte, die Kohlenplatte (C) aus einem Stück Gascoke.

Aus den vorstehenden Werthen läßt sich unmittelbar eine sogenannte Spannungsreihe aufstellen; ich werde in derselben das Intervall zwischen Zink und Kupfer = 100 setzen, jedoch um negative Vorzeichen zu vermeiden, den Ort des Zinks durch 200, und folglich den des Kupfers durch 100 bezeichnen. Aufser der Stellung, welche die blanken Metalle einnehmen, füge ich dieser zweiten Tabelle auch noch die Stelle dieser Metalle nach kürzerem oder längerem Liegen an der Luft, sowie die Werthe für einige Legirungen bei.

Name des Metalles	Ort in der Spannungsreihe				Betrag der größten beobach- teten Ver- änderung
	unmittelbar nach dem Putzen	1 bis 2 Tage nach dem Putzen	4 bis 7 Tage nach dem Putzen	länger als 2 Monate nach dem Putzen	
Aluminium	225		165	140	85
Amalgam. Zink	200				
Zink . . .	200	188		157	43
Zinn . . .	177		164	152	25
Cadmium . .	176		164	139	37
Blei . . .	156		135	151	21
Antimon . .	131		121	113	18
Wismuth . .	128	116	110	106	22
Neusilber . .	125			105	20
Messing . .	122	110			
Quecksilber .	119	60			59
Eisen . . .	116		100	95	21
Stahl . . .	109			93	16
Gusseisen . .	108			96	12
Kupfer . . .	100		86		14
Gold	100		81		19
Palladium . .	85				
Silber . . .	82		70	82	12
Coke	78		78		
Platin . . .	77				

Die merkwürdige Ortsveränderung, welche Blei und Silber zeigen, indem sie beim Aussetzen an die Luft erst sinken und später wieder steigen, scheint ihren Grund darin zu haben, daß anfangs eine Oxydation und später eine Schwefelung der Oberfläche eingetreten ist.

III. Notiz über phosphorisches Leuchten des Fleisches; von W. Hankel.

(Aus d. Bericht d. Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch.)

Die bekannt gewordenen Fälle, wo ein phosphorisches Leuchten des Fleisches von Säugethieren beobachtet worden, scheinen nicht sehr zahlreich zu seyn. Einige wenige ältere Beobachtungen über diesen Gegenstand finden sich in dem

Werke über die Phosphorescenz der Körper von Placidus Heinrich (Bd. III, S. 382) und in Gmelin's Chemie (Bd. I, S. 180) zusammengestellt; diesen ist noch die im Jahre 1853 von Heller in Wien gemachte Mittheilung über Würste, welche im Finstern ein sehr helles, über ihre ganze Oberfläche ausgedehntes grünes Licht verbreiteten, hinzuzufügen. (Heller, Archiv für phys. u. pathol. Chemie u. Mikroskopie, Jahrg. 1853, Heft 1; Fechner, Centralblatt 1853, S. 807.) Es dürfte daher die folgende Notiz nicht ganz ohne Interesse seyn.

In der Mitte des Januar dieses Jahres war an einem Sonnabend von einem der größten Fleischer Leipzigs gehacktes Rind- und Schweinefleisch gekauft worden. Die beiden Fleischarten, noch gesondert, aber, wenigstens das Schweinefleisch, mit Salz und Kümmel bereits vermengt, sollten am Sonntag zur Mahlzeit zubereitet werden. Als die Magd am Morgen die Schüssel mit dem Fleische aus der etwas dunklen Speisekammer herausnahm, fand sie den einen Theil des Fleisches leuchtend, worauf die Schüssel mit ihrem Inhalte mir übersandt wurde.

Eine sofort vorgenommene Untersuchung ergab nun, daß bloß das Schweinefleisch, nicht aber das Rindfleisch leuchtete, und durch mikroskopische Beobachtungen wurde festgestellt, daß weder Infusorien noch Kryptogamen an dem leuchtenden Fleische nachzuweisen waren. Das Fleisch erschien frisch und ohne fauligen Geruch; auch habe ich an diesem Tage keine Krystalle von phosphorsaurer Ammoniak-Talkerde wahrgenommen, die vielmehr erst am Montag Abend, nachdem das Fleisch am Sonntag mehrere Stunden lang in der warmen Stube gestanden hatte, sich zeigten.

Als nach Eintritt der Nacht die Untersuchung von Neuem begonnen wurde, hatte die Intensität des Leuchtens zugenommen, und schien während des Verbleibens in der warmen Stube im Laufe der nächsten Stunden noch beträchtlich zu wachsen. Das Licht war silberweiß, und sein Glanz so stark, daß man in dem sonst völlig dunkeln Raume die in der Nähe des Fleisches liegenden Gegenstände deutlich

zu erkennen, und mit der Spitze einer Pincette einzelne besonders durch ihre Helligkeit ausgezeichnete Punkte zu fassen vermochte.

Ward mit einem Messer ein Theil der leuchtenden Masse hinweggenommen, so erschien die verletzte Stelle, je nach den Umständen, dunkel oder doch stets weniger leuchtend als die unverletzten Theile der Oberfläche; mit der Zeit verminderte sich der Unterschied und späterhin war die Stelle nicht mehr zu erkennen. Hiernach zeigten also vorzugsweise die an der Oberfläche in Berührung mit der Luft befindlichen Fleischmassen den leuchtenden Zustand.

Brachte man die stärkst leuchtenden Punkte mit der Pincette auf ein Stückchen Glas, so ergab die Untersuchung mit freiem Auge oder mittelst einer schwachen Lupe, daß das Leuchten nicht von Muskeltheilen, sondern von kleinen schmierig aussehenden Massen ausging. Unter dem Mikroskope konnte im finstern Zimmer selbst bis zu vierhundertfacher Vergrößerung das Leuchten deutlich wahrgenommen werden. Begann man mit sehr schwachen Vergrößerungen, die man nach und nach verstärkte, so löste sich die ursprünglich beim Betrachten mit bloßen Augen oder einer nur schwachen Lupe als gleichförmig erscheinende leuchtende Substanz in einzelne stärker leuchtende, auch wohl durch dunkle Stellen getrennte Massen auf.

Die Beobachtungen unter dem Mikroskope im Finstern haben große Schwierigkeit, indem das Auge oft nicht gehörig accommodirt ist und die richtige Stellung oberhalb des Oculars nicht leicht findet. Am besten stellt man das Object unter hinreichender Beleuchtung mittelst einer Lampe ein, und verkleinert und entfernt dann dieselbe, während das Auge seinen Ort über dem Oculare unverrückt zu behalten sucht. Durch geringes Verschieben des Objectes gelingt es meistens bald, die leuchtenden Theilchen ins Gesichtsfeld zu bringen. Sehr vortheilhaft ist bei diesen Versuchen das Gaslicht, dessen Helligkeit man allmählich so weit verringern kann, daß das übrigbleibende kleine blaue Flämmchen durch sein außerordentlich schwaches Licht

keinen störenden Einfluss mehr auszuüben vermag. Das Fortbrennen der Flamme, dem Spiegel des Mikroskops gegenüber, gewährt aber die Fügigkeit, in jedem Augenblicke wieder etwas mehr Licht zu geben, wenn das Auge die richtige Stellung über dem Oculare verloren haben sollte.

Aller sorgfältigen Beobachtung ungeachtet zeigte sich auch an diesem Abend kein eigenthümliches thierisches oder pflanzliches Gebilde, von dem das Leuchten hätte herrühren können. Heller leitet das Leuchten thierischer Substanzen von einem Pilze her, den er mit dem Namen der *Sarcina noctiluca* bezeichnet. Da ich mir jedoch den betreffenden Jahrgang seines Archivs für physiologische und pathologische Chemie und Mikroskopie nicht zu verschaffen vermochte, und die Schlufsergebnisse, zu denen er gelangt, nur aus Fechner's Centralblatt für 1853 S. 1012 kenne, so weiß ich nicht, welche Formen er diesem Pilze beilegt, da er in diesen Schlufsergebnissen keine Beschreibung desselben giebt.

Deckte ich die leuchtende Fettmasse mit einem Deckglase zu, und drückte dasselbe fest auf, so zeigte sich die Masse unter dem Mikroskop nur noch am Rande, wo sie mit der Luft in Berührung stand, leuchtend; es schienen mir niemals besondere Theile zu seyn, von denen das Leuchten ausging, sondern eben die schmierigfettige Masse in ihrer Berührung mit der Luft.

Als ein Theil der leuchtenden Masse in einem Glase mit destillirtem Wasser von der Temperatur des Zimmers übergossen wurde, erschien nach einer halben Stunde das Leuchten nicht merklich geändert. Selbstverständlich ist jedoch eine genaue Angabe unmöglich, indem sich eine scharfe Vergleichung auf so lange Zeit hin nicht ausführen läßt. Nach $\frac{1}{2}$ Stunden war bereits eine deutliche Abnahme in der Intensität des Lichtes eingetreten; nach $2\frac{1}{2}$ Stunde fand ich die Masse immer noch leuchtend, wenn auch beträchtlich schwächer. Das Wasser nahm von der leuchtenden Substanz Nichts auf, leuchtete selbst nicht.

Mit Olivenöl übergossen zeigte sich nach 10 Minuten keine merkliche Abnahme des Leuchtens, die auch nach $\frac{1}{2}$ Stunde noch nicht deutlich hervortrat. Nach $\frac{3}{4}$ Stunden dagegen war die Intensität offenbar etwas geringer; nach 2 Stunden fand ich das Fleisch immer noch ziemlich stark leuchtend; am nächsten Abend jedoch, bis wohin das Fleisch vom Oele bedeckt zwischen den Doppelfenstern des Zimmers gestanden hatte, war jede Spur eines Leuchtens verschwunden. Ebenso wie das Wasser nahm das Oel von der leuchtenden Substanz Nichts auf und leuchtete auch an seiner Oberfläche nicht.

Während Wasser und Oel die leuchtende Eigenschaft des Fleisches nur langsam vernichteten, geschah dies viel schneller durch Aether, Alkohol und Kalilösung.

Wurde ein Theil der leuchtenden Masse mit Aether übergossen, so begann das Leuchten sofort abzunehmen, war nach einer halben Minute noch mäßig stark, dagegen nach 3 bis 4 Minuten vollständig verschwunden.

Aehnlich verhielt sich das Fleisch gegen absoluten Alkohol.

In verdünnter Kalilösung verschwand das Leuchten sehr schnell; in concentrirter sofort bei der Berührung mit dieser Flüssigkeit.

Das Temperaturintervall, innerhalb dessen der Proceß des Leuchtens eintritt, ist beschränkt; während ihn mäßige Wärme erhöht, wird er durch Kälte und höhere Temperaturen vernichtet.

Auf den Boden eines kleinen Trinkglases wurde ein Theil der leuchtenden Fleischmasse gebracht und dort seitlich mäßig angedrückt, so daß das Glas umgestülpt und das Leuchten durch den Boden beobachtet werden konnte; das Glas wurde dann mit der Oeffnung nach unten auf einen Teller gestellt und mit Eis und Schnee umgeben, die aber nicht mit der Fleischmasse in Berührung kamen. Bereits nach 7 Minuten war das Leuchten kaum noch wahrnehmbar, wozu freilich auch das Beschlagen des Glases einen Theil beitragen mochte. Als die Herren Prof. E. H.

Weber und Bacc. med. Kohlschütter das leuchtende Fleisch unmittelbar auf Schnee legten und daselbst längere Zeit liegen ließen, dauerte das Leuchten auf beiden Seiten und namentlich auch auf der Seite fort, die dem Schnee unmittelbar zugekehrt war. Unter Wasser und Oel, bei einer Temperatur von $+9^{\circ}$ R., sahen sie das Leuchten fort dauern.

Wurde das Fleisch von dem kälteren Vorsaal, wo es am Tage gestanden, in die geheizte Stube gebracht, so erschien das Licht, wie schon bemerkt, nach und nach lebhafter. Dagegen reichte schon eine Temperatur, die wahrscheinlich noch nicht einmal 30° R. zu betragen braucht, hin, um das Leuchten aufhören zu lassen. Als ein etwas leuchtendes Fleisch enthaltendes kleines Becherglas in Wasser von 42° R. getaucht wurde, war alles Licht verschwunden, als ein mit seiner Kugel in das Fleisch eingedrücktes Thermometer 32° zeigte; man darf wohl annehmen, daß die Temperatur der Oberfläche des Fleisches noch geringer war. Bei einem spätern Versuche wo ein dünnes Streifchen leuchtendes Fischfleisch an die Seitenwand eines Probirgläschens gelegt, und letzteres nach Verschlufs mittelst eines Korkes unter warmes Wasser getaucht wurde, erlosch das Licht schon, wenn das Wasser kaum eine Temperatur von 30° R. besaß, trat aber nach dem Erkalten wieder ein. Hr. Prof. E. H. Weber und Hr. Baccalaureus E. Kohlschütter erhielten bei den von ihnen mit demselben Fleische gemeinschaftlich angestellten Versuchen dasselbe Resultat, als es 5 Minuten lang in einer von beiden übereinandergelegten Händen gebildeten Höhle gelegen hatte. Als ich das leuchtende Schweinefleisch mit Wasser von 32° R. unmittelbar übergoss, so verschwand das Leuchten in weniger als einer halben Stunde; mit Wasser von 45° übergossen, ward die Substanz augenblicklich dunkel. Die HH. Weber und Kohlschütter sahen Fleisch, dessen Licht durch Eintauchen in Wasser oder Oel von 29° R. fast augenblicklich erloschen war, an der Luft allmählich wieder leuchtend werden; indessen erreichte die Intensität des Lichts

in einer halben Stunde nicht ganz den früheren Grad. Hatte dagegen das Fleisch durch Benetzen mit Alkohol seine leuchtende Eigenschaft verloren, so erhielt es dieselbe auch nach dem Abspülen mit Wasser nicht wieder.

Durch das öftere und länger andauernde Aufbewahren des gehackten Schweinefleisches im warmen Zimmer trat sehr bald eine starke Fäulniß ein, die aber, wie auch sonst bekannt, den Lichtentwicklungsvorgang nicht verstärkte: derselbe nahm mit ihrem Eintreten ab. Noch nach acht Tagen, wo ich das Fleisch endlich der starken Fäulniß wegen fortwerfen mußte, habe ich leuchtende Massen darin wahrgenommen.

Das neben dem leuchtenden Schweinefleische liegende gehackte magere Rindfleisch ward von dem ersteren nicht angesteckt, sondern blieb fortwährend dunkel.

Zur Fortsetzung der Untersuchung suchte ich mir einen leuchtenden Fisch zu verschaffen, den ich auch bald in einer Sendung frischer Dorsche auffand.

Wurde ein Stück leuchtendes Fischfleisch unter das Mikroskop gebracht, so erschien die ganze Masse leuchtend; es waren nicht bloß einzelne leuchtende Partien, wie beim Schweinefleisch, wo dieselben wahrscheinlich auch nur durch die Vertheilung des Fettes beim Hacken getrennt worden waren. Legte man ein Stück Haut auf den Objectträger, so konnte man im eigenen Lichte desselben deutlich die kleinen dunkelbraunen strahligen Flecke erkennen. Beim ersten Anblick nahm es sich so aus, als ob das Fleisch in seiner ganzen Masse leuchtete; wie weit jedoch in Wirklichkeit der Lichtproceß ins Innere des Fleisches eingedrungen, dürfte bei dem starken Durchscheinen der Masse nicht leicht zu entscheiden seyn.

Einzelne Punkte an der Hautfläche und besonders auf dem silberfarbenen Peritonaeum der Bauchhöhle (ich hatte den Fisch der Länge nach gespalten) leuchteten vorzugsweise hell; unter das Mikroskop gebracht liefs sich aber in der schleimigfettigen Masse nichts Eigenthümliches auffinden.

Ward ein Stück in seiner ganzen Ausdehnung leuchtendes Fischfleisch, das einen sehr stark leuchtenden Punkt enthielt, auf einem kleinen Uhrglase unter den kaum $1\frac{1}{2}$ Cubikzoll haltenden Recipienten einer Luftpumpe gesetzt, so nahm beim Evacuiren die Lichtintensität ab, verschwand aber selbst bei Verdünnung bis auf 2 oder 3^{mm} Druck und nach längerer Dauer derselben nicht ganz, während Hulme (Gilb. Ann. Bd. 12, S. 308) unter ähnlichen Verhältnissen ein gänzliches Verlöschen beobachtet zu haben angiebt. Namentlich wurde der stark leuchtende Punkt sehr geschwächt, so daß sein Ort auf der mattglimmenden Fläche wenig erkennbar war. Bei raschem Zutritte der Luft blitzte er plötzlich wieder auf, und auch die übrige Masse erhielt gleichzeitig ihre frühere Lichtstärke wieder.

Dagegen erlosch das Licht vollständig, wenn der Recipient zur Entfernung alles Sauerstoffs mehre Male mit reiner Kohlensäure gefüllt und leergepumpt wurde; aber auch jetzt verschwand das Licht nicht sogleich beim Auspumpen, sondern erst nach einiger Zeit. Beim Zulassen von atmosphärischer Luft trat sofort der frühere Lichtglanz wieder auf.

Wurde aber unter einer Glasglocke neben einem Stücke leuchtenden Fleisches etwas Schwefel verbrannt, so war nach dem Klarwerden des Inhalts der Glocke jede Spur des Leuchtens vernichtet, und auch auf Zutritt von atmosphärischer Luft blieb Alles finster.

Die Versuche über das Verhalten des leuchtenden Fleisches in luftverdünntem Raume zeigen, daß keine große Sauerstoffmenge nöthig ist, um ein starkes Leuchten hervortreten zu lassen. Konnte ich also auch das Resultat voraussagen, so glaubte ich dennoch den Versuch ausführen und das Fleisch der directen Wirkung des Sauerstoffs aussetzen zu müssen, namentlich da Heller unter seinen Resultaten (Fechner's Centralblatt 1853, S. 1013) anführt, daß reiner Sauerstoff das Licht verstärke. Bei vergleichenden Versuchen mit zwei nahe gleichstark leuchtenden Fleischmassen, von denen die eine in der Luft liegen blieb, die andere aber unter eine Glocke gebracht wurde, in welche

mittelst eines Aspirators reiner Sauerstoff gesogen werden konnte, zeigte sich in der Lichtintensität des unter der Glocke befindlichen Stückes auch nach reichlichem Zuflusse von Sauerstoff keine Zunahme. Man muß sich bei diesem Versuche sehr hüten, durch verschiedene Theile der Glocke zu blicken, weil diese möglicherweise das Licht ungleich schwächen.

Zur Beantwortung der Frage, ob nicht vielleicht ein ozonisirter Sauerstoff das Leuchten des Fleisches vermehren würde, leitete ich den Sauerstoff, bevor er in die Glocke trat, unter welcher das Fleisch lag, durch einen Ozonapparat. Derselbe bestand aus zwei ineinander geschobenen Glasröhren, zwischen denen der Sauerstoff hindurch geleitet wurde; die äußere Röhre war auf ihrer äußern, die innere auf ihrer inneren Fläche mit Stanniol belegt, und beide Belegungen standen mit den beiden Enden der Inductionsspirale eines sehr kräftigen Inductionsapparates in Verbindung, so daß das Gas stark ozonisirt ward. Aber auch jetzt zeigte sich das Leuchten des Fleisches nicht vermehrt.

Ein Versuch, mittelst des leuchtenden gehackten Schweinefleisches den Inhalt einer frischen Bratwurst in gleichen Zustand zu versetzen, hatte nicht den gewünschten Erfolg. Dagegen gelang es, ein einige Millimeter dickes Stück Schweinefett (Fett aus dem Gekröse), das 2 bis 3 Stunden in schwachem Salzwasser gelegen hatte, durch Aufstreichen der leuchtenden Fischmasse ebenfalls zum starken Leuchten zu bringen, während andere umliegende, ganz ähnlich behandelte Stücke den Zustand nicht annahmen. Das leuchtende Fettstück sah im Dunkeln porcellanartig durchscheinend aus; das Leuchten schien ebenso wie beim Fischfleische sich auch in eine gewisse Tiefe der Masse zu erstrecken.

Die vorstehenden Versuche griffen infolge des häufigen meist plötzlichen Wechsels von fast absoluter Dunkelheit und sehr hellem Lichte die Augen stark an; ich habe mich dadurch genöthigt gesehen, die Untersuchung einstweilen zu unterbrechen, beabsichtige jedoch, dieselbe sobald als möglich wieder aufzunehmen.

IV. *Ueber die durch Temperaturverschiedenheit
sich berührender Körper verursachten Töne;*
von C. Sondhaufs.

Bei dem Interesse, welches gegenwärtig dem Studium der Wärme-Erscheinung gewidmet wird, dürfte es nicht unangemessen seyn, den bekannten alten Versuch mit dem Trevelyan-Instrumente wieder einmal einer nähern Betrachtung zu unterwerfen; denn obgleich nach den von Trevelyan und Anderen angestellten umfangreichen Versuchen und der von Faraday gegebenen Erklärung des Phänomens, vorzüglich aber nach A. Seebeck's scharfsinniger und lichtvoller Arbeit: »Ueber die Erzeugung von Tönen mittelst Wärme«¹⁾ die Acten über den Gegenstand geschlossen zu seyn scheinen, so bieten sich bei der sorgfältigen Betrachtung der interessanten Erscheinung noch manche Bemerkungen über noch nicht bekannte oder hinreichend hervor gehobene Eigenthümlichkeiten derselben dar, und bleibt noch manche Frage, z. B. die nach der Temperatur der durch Wärme in Schwingung versetzten oder erhaltenen Körper, zu beantworten. Dafs keiner der bisherigen Beobachter ein Thermometer an den erhitzten schwingenden Körper gehalten hat, ist eigentlich auffallend, da doch in einzelnen Fällen bemerkt worden ist, dafs die zum Gelingen des Versuchs erforderliche Temperatur-Erhöhung gar nicht so bedeutend ist, als man gewöhnlich meint.

Die letzte Arbeit, durch welche unsere Kenntniß des betrachteten Gegenstandes vermehrt worden ist, verdanken wir John Tyndall. Seine im Jahre 1854 veröffentlichte Abhandlung: »Ueber die durch Berührung ungleich warmer Körper hervorgebrachten Erzitterungen und Töne«²⁾ enthält als Einleitung eine Geschichte des Trevelyan-Versu-

1) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 51, S. 1. 1840.

2) Aus den *Philosoph. Transact.* für 1854 mitgetheilt in Pogg. Ann. Bd. 92, S. 613. 1855.

ches. Ich erwähne, auf die Quellen verweisend ¹⁾, in Kürze nur die Thatsache, daß die Entdeckung der besprochenen Erscheinung zuerst in Deutschland im Jahre 1805 von dem Hüttenverwalter Schwarz auf der Seigerhütte zu Hettstädt im Mansfeld'schen Bergbezirk zufällig gemacht worden ist, und daß im Jahre 1829 in England A. Trevelyan, ohne von der in Deutschland gemachten Entdeckung zu wissen, dieselbe Erscheinung ebenfalls zufällig bemerkte. Schwarz hatte eine eben erstarrte, noch heiße Silberseife auf einen Amboss, Trevelyan ein zu heißes Eisen, womit er Pech austreichen wollte, unterdeß zur Abkühlung auf einen Bleiblock gelegt. Beide bemerkten den durch die Erzitterungen des heißen Metalles erzeugten Ton. Trevelyan hat dem zitternden heißen Körper, welchen ich wie die früheren Beobachter »Wieger« nennen will, eine zweckmäßige prismatische Gestalt gegeben, und dadurch und durch die von ihm zur Erklärung der Erscheinung angestellten Versuche Veranlassung gegeben, den einfachen Apparat nach seinem Namen »Trevelyan-Instrument« zu nennen.

Meine Versuche waren anfänglich vorzüglich darauf gerichtet, zu ermitteln, ob bei dieser oder jener Combination von verschiedenen Körpern der Trevelyan-Versuch gelinge, und ich bemühte mich namentlich die Reihenfolge zu finden, in welcher die als Unterlage oder Träger brauchbaren Körper zur Hervorrufung der Erscheinung mit Wiegern aus verschiedenen Metallen mehr oder weniger geeignet sind. Ich überzeugte mich, daß bei dieser Vergleichung ohne Anwendung des Thermometers kein zuverlässiges Resultat zu erlangen sey, und suchte daher den Apparat so einzurichten, daß der Versuch bei möglichst niedriger Temperatur gelänge und daß während desselben die Temperatur des erwärmten Wiegers bestimmt werden könnte. Ich erkenne die Mängel der in dem Folgenden beschriebenen Einrichtung nicht, mußte mich aber mit derselben behelfen,

1) Gilbert's Annalen der Physik Bd. 22, S. 323 und Pogg. Ann. Bd. 24, S. 466.

und hoffe, daß die von mir gefundenen Resultate dennoch einigen Werth haben werden. Genauer und entscheidender könnte zwar die Temperatur-Differenz zwischen dem Wieger und dem Träger desselben durch die Anwendung von thermo-elektrischen Ketten bestimmt werden; der Apparat würde aber dadurch zu complicirt und die Versuche müßten, wie mir scheint, überaus zeitraubend werden.

1. Beschreibung des Apparates.

Ich habe die dem Wieger von den früheren Beobachtern gegebene Gestalt zweckmässig gefunden und dieselbe bei der Einrichtung meines Apparates beibehalten. Meine Wieger sind aber kleiner und niedriger als die gebräuchlichen und haben auf der untern convexen Seite eine nur sehr flache $\frac{3}{4}$ bis 4 Millimeter breite Längsfurche. Die durch diese Furche mit den benachbarten Flächen gebildeten Kanten sind nicht scharf, sondern durch eine nicht ganz ein Millimeter breite Fläche gebrochen. Diese kleinen Flächen haben sich übrigens durch das oftmalige Putzen des Wiegers etwas abgerundet, ohne daß der Apparat weniger brauchbar geworden ist. Fig. 1, Taf. I stellt den Querschnitt der am meisten gebrauchten aus verschiedenen Metallen gefertigten Wieger vor; Fig. 2 giebt eine vollständige Ansicht derselben. Die Breite der oberen Fläche ab beträgt 28 Millimeter, die Höhe cd 11 Millimeter, die Länge bf 65 Millimeter. Ein ähnlicher, etwas größerer, kupferner Wieger ist 30 Millimeter breit, 12,8 Millimeter hoch und 76 Millimeter lang. Ein noch größerer eiserner Wieger von 92 Millimeter Länge, 40 Millimeter Breite und 17 Millimeter Höhe, welcher zur Probe angefertigt worden ist, wurde seiner Unbequemlichkeit wegen bald bei Seite gelegt. Als Griff habe ich nicht, wie gewöhnlich, einen langen hölzernen Stiel an den Metallkörper befestigt, sondern einen etwa 9 Centimeter langen eisernen Draht g (Fig. 2) ungefähr in der Gegend des Schwerpunkts der einen Endfläche eingeschraubt und mit einem kleinen, leichten hölzernen Griffe versehen.

Um dem Apparate eine größere Empfindlichkeit zu geben

und die Temperaturbestimmung möglich zu machen, wurden mit den Wiegern noch folgende Vorrichtungen verbunden. In die obere Fläche *ab* des Wiegers wurden auf der Mittellinie in der respectiven Entfernung von 14 und 37 Millimetern von der vordern Kante zwei Löcher, *i* und *k* (Fig. 2), gebohrt und mit Schraubengewinden versehen. Zwei eben solche Löcher *l* wurden an den Seitenflächen *bf* angebracht. Diese Löcher dienen zur Befestigung von Schwingkolben, welche in 4 Millimeter dicken Eisendrähten bestehen, auf welchen sich kleine durchbohrte Messingkugeln mit Klemmschrauben in verschiedener Entfernung von den Befestigungspunkten fest einstellen lassen. Ich will den auf der obern Fläche in eins der Löcher eingeschraubten Draht, welcher den Schwerpunkt des Wiegers hebt und die Schwingungen weiter und langsamer macht, also gewissermaßen eine Vergrößerung der Höhe des Wiegers bewirkt, das aufrechte Pendel, und die an der Seite des Wiegers befestigten horizontalen Drähte, welche die Schwingungen langsamer machen, ohne den Schwerpunkt des Apparats erheblich zu verändern, und welche eine Erweiterung des Wiegers in der Breite ersetzen, die Schwingkolben nennen, und den Wieger ohne diese Vorrichtungen als nicht armirt bezeichnen. Fig. 3 stellt einen mit dem aufrechten Pendel und mit den beiden horizontalen Schwingkolben armirten Wieger vor. Das aufrechte Pendel ist 79 Millimeter, die beiden Schwingkolben sind 48 Millimeter lang, das Schraubengewinde abgerechnet. Die an den Drähten befindlichen Kugeln haben einen Durchmesser von 11 Millimetern und wiegen mit der Klemmschraube 12,9 Grm. Ich habe aufer diesen Kugeln noch ein Paar gröfsere in einigen Fällen angewendet, welche genau doppelt so schwer sind als die kleineren.

Die obere Fläche des Wiegers ist mit zwei Schrauben-Löchern versehen, um auf ihr aufer dem aufrechten Pendel noch ein cylindrisches Gefäß *k* (Fig. 4) von Eisenblech, 19 Millimeter hoch und 22 Millimeter weit, mittelst einer Schraube befestigen zu können. Die untere Fläche des

Cylinders ist eben und wird beim Aufschrauben fest an die Fläche des Wiegers angepresst, damit die Mittheilung der Wärme von dem erhitzten Wieger an das Gefäß möglichst erleichtert werde. Da durch eine in das Gefäß gegossene Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, Oel, oder Wasser, und durch ein in dieselbe getauchtes Thermometer die Schwingungen des Wiegers nicht gestört werden, so läßt sich bei gehöriger Vorsicht mit dem Thermometer die Temperatur der Flüssigkeit bestimmen und davon auf die Temperatur des Wiegers schließen ¹⁾).

Ein im Uebrigen den oben beschriebenen kleineren Wiegern fast gleicher Wieger aus Eisen hat die Einrichtung, daß an der untern Ecke der vorderen Endfläche eine Lücke ausgefeilt ist, in welche passende Einsatzstücke aus verschiedener Substanz mit zwei Schrauben hinreichend befestigt werden können. Fig. 5 stellt diese Einrichtung dar. Ein auf diese Weise zusammengesetzter Wieger verhält sich, so weit ich nach meinen bisherigen Versuchen urtheilen kann, wie ein Wieger aus der Substanz des Einsatzstücks und macht Versuche mit Körpern möglich, welche zu soliden Wiegern zu verarbeiten zu kostspielig oder aus andern Gründen unzweckmäfsig wäre. Ich habe z. B., um diesen Versuch hier schon anzuführen, ein passendes Einsatzstück aus Graphit geschnitten und mich überzeugt, daß der Wieger, mit dem Graphitende auf Blei, Steinsalz oder Zinn gelegt oder erhitzt, in Schwingung geräth und anhal-

- 1) Diese Einrichtung giebt auch Gelegenheit zu einem hübschen Collegien-Versuche. Füllt man das cylindrische Gefäß mit Quecksilber oder Wasser und setzt den erhitzten Wieger in Schwingung, so zeigen sich im Augenblicke, wo der Ton entsteht, auf der Oberfläche schöne, deutliche Wellenkreise; ändert sich der Ton, so ändert sich in demselben Augenblick auch das Wellensystem, und zwar entstehen mehr und schmalere Ringe, wenn der Ton höher wird. Diese Ringsysteme haben, dem Ansehen nach, oft große Aehnlichkeit mit den entoptischen Bildern, welche manche Krystalle im polarisirten Lichte geben. Gießt man auf die Wasseroberfläche, welche die Ringe gezeigt hat, einige Tropfen Oel, so werden die Wellenringe flacher und sind oft kaum merklich. Ein Nachweis im Kleinen von der bekannten Wellen beruhigenden Eigenschaft des Oels.

tende, ganz deutliche Töne erzeugt. Tyndall hat schon nachgewiesen, daß heiße metallische Wieger auf Bergkry-
stall, Flussspath, Steinsalz und vielen andern nicht metalli-
schen Mineralien tönen; es steht nunmehr nach dem eben
erwähnten Versuche fest, daß beide Körper unmetallisch
seyn können, da erhitzter Graphit auf Steinsalz tönt.

Der übrige Theil des Apparats und die Zusammenstellung
desselben ist in Fig. 6, Taf. I abgebildet. Auf einem 26 Cen-
timeter langen und 11 Centimeter breiten Brette *AB* ist
der massive hölzerne Cylinder *C* von 9,5 Centimeter Höhe
und Durchmesser befestigt. Dieser Cylinder dient als so-
lider Träger für eine kreisförmige Marmorplatte *DE*, welche
in der Mitte durchbohrt ist, um eine an dem Holz-Cylinder
befestigte Axe gedreht und mit der Schraubenmutter *F* an
die Unterlage gepreßt und festgestellt werden kann. Auf
die obere Fläche solcher Marmorplatten, deren ich drei
habe, von 10,2 bis 10,5 Centimeter Durchmesser und 1,6
bis 1,9 Centimeter Dicke, werden am Rande rings herum
die Körper, welche mit dem heißen Wieger untersucht
werden sollen, mit Siegellack gekittet. Diese Befestigungs-
weise hat sich bewährt; denn es sind die Versuche nur in
einem Falle, wo eine möglichst große Hitze lange Zeit an-
gewendet wurde, um einen Erfolg zu erzwingen, durch das
Weichwerden des Kitts unterbrochen worden. Ein anderes
Befestigungsmittel bietet noch der kleine stählerne Schraub-
stock *I* dar, welcher hauptsächlich zum Festhalten von als
Träger anzuwendenden Drähten und dünnen Blechen be-
stimmt ist.

2. Verfahren bei den Versuchen im Allgemeinen.

Der Wieger wird bei den Versuchen mit seinem vor-
deren Ende auf die zu untersuchende Unterlage gelegt und
hinten an seinem Drahtstiel durch das auf dem Brette *AB*
verschiebbare und mittelst einer Klemmschraube hoch und
niedrig zu stellende Stativ *GH* unterstützt. Eine unter dem
Wieger gestellte einfach gläserne Spirituslampe liefert die
zu den Versuchen ausreichende Hitze. Soll mit dem Ver-

suche die Bestimmung der Temperatur des Wiegers verbunden werden, so wird das Thermometer *L*, welches an dem verschiebbaren horizontalen Arme des hinter dem Apparate stehenden Stativs *MN* frei herabhängt, senkrecht über das auf den Wieger geschraubte und mit der die Wärme leitenden Flüssigkeit gefüllte Gefäß gestellt und mit seinem beweglichen Träger herabgelassen, bis die Kugel in die Flüssigkeit taucht. Der Wieger oscillirt bei dieser Einrichtung so ruhig und sicher, daß das Thermometer nicht im mindesten gefährdet ist, wenn man nur bei dem ersten Anstoße, durch welchen man den Apparat in Schwingung versetzt, mit der gehörigen Vorsicht verfährt. Ich habe noch zu bemerken, daß ich, um die Leitung der Wärme von dem Wieger nach dem Thermometer zu vermitteln, Wasser oder Oel, je nachdem die zu bestimmende Temperatur unter oder über 80° R. war, anwendete, weil Quecksilber, abgesehen von der größeren Belastung des Wiegers, den Uebelstand herbeiführte, daß die Kugel des frei herabhängenden Thermometers wegen der Convexität der Quecksilberoberfläche in dem cylindrischen Gefäße nicht in der Mitte des Gefäßes schweben blieb, sondern sich an den Rand des mit dem Wieger oscillirenden Gefäßes anlegte und die Oscillationen störte.

Die Temperaturbestimmung wurde bei den Versuchen auf folgende Weise ausgeführt. Nachdem der Apparat, wie oben angegeben, zusammengestellt war, wurde der Wieger durch die untergestellte Lampe allmählich erwärmt. Während der allmählichen Steigerung der Temperatur müssen dem Wieger in kleinen Intervallen vorsichtige Anstöße gegeben werden, um zu ermitteln, ob die Erwärmung zur Hervorrufung der Erscheinung ausreiche. Ich habe zu diesem Zwecke dem Wieger mit einer kleinen Pincette oder einem dünnen Bleistifte ab und zu leichte Schläge gegeben. Wenn die zum Eintritt der Erscheinung erforderliche Temperatur beinahe vorhanden ist, zeigen sich vor den anhaltenden Oscillationen in der Regel zuerst Anklänge, gewissermaßen die ersten noch mißglückenden Versuche des

Wiegens sich in Schwingung zu setzen. Wenn man die Anstöße dem Wieger mit mehr Geschicklichkeit oder Glück giebt, so gelingt es in dem einen Falle unter übrigens scheinbar gleichen Umständen früher und bei einer weniger hohen Temperatur die dauernden Schwingungen zu erhalten als in dem andern. Ist der Wieger in anhaltende Schwingungen versetzt, so wird die Lampe weggenommen und die Temperatur beobachtet. Das Thermometer steigt noch einige Zeit, weil die Hitze sich nur allmählich nach dem cylindrischen Gefäße verbreitet und durch die Flüssigkeit in demselben auf das Thermometer wirkt. Wenn das Thermometer zu fallen anfängt, wird die Temperatur notirt und die Beobachtung fortgesetzt, bis der Wieger sich so weit abgekühlt hat, daß er durch kleine Anstöße nicht mehr in dauernde Schwingungen zu versetzen ist. Manchmal tönt der Apparat in einem Zuge so lange, daß er nach dem Aufhören des Tons durch die sorgfältigste Behandlung nicht mehr zum Oscilliren gebracht werden kann; gewöhnlich treten aber, auch wenn der Wieger noch hinreichend heiß ist, ab und zu Unterbrechungen des Tones ein, die zum Theil die Folge von äußeren Störungen sind, z. B. durch einen unbedeutenden Stofs an den Experimentirtisch, oder durch Zuschlagen einer Thür herbeigeführt werden können, zum Theil aber einen innern, in dem Verlaufe der Erscheinung liegenden Grund haben müssen. Solche Unterbrechungen kündigen sich in der Regel durch eine Aenderung des Tons an. Ist man dann nach dem Aufhören des Tons gleich bei der Hand, dem Wieger einen leichten Anstofs zu geben, so tritt die Erscheinung sofort wieder ein, in der Regel schon in Folge der leichtesten Berührung; zögert man dagegen mit der dem Wieger zu gebenden Hülfe, so ist die neue Anregung schwieriger und manchmal sogar vergeblich, wenn die Temperatur schon bis nahe an die Gränze des Erfolgs herabgesunken ist. Manchmal ist es innerhalb der Temperaturgränzen, wo der Versuch noch gelingt, umständlich und nur durch besondere Sorgfalt möglich, den Wieger

wieder zum Oscilliren zu bringen; und dennoch tönt dann derselbe noch längere Zeit und bei niedrigerer Temperatur.

Das für mich wichtigste Resultat eines solchen Versuchs war immer die Bestimmung der niedrigsten Temperatur, bei welcher der Wieger noch entschieden und anhaltend oscillirte. Es wurde daher auf dieselbe die größte Sorgfalt verwendet und insbesondere darauf geachtet, das Nachschwingen des Wiegers in Folge der gegebenen Anstöße von den anhaltenden Schwingungen sicher zu unterscheiden. Es gehört nach meinen Versuchen eine höhere Temperatur dazu, um den Wieger in anhaltende Schwingungen zu versetzen, als um ihn darin zu erhalten und durch zweckmäßige Anstöße von neuem anzuregen; diese Temperatur liefs sich aber bei meiner Einrichtung nicht bestimmen, da das Thermometer die Temperatur des Wiegers erst allmählich annimmt. Außerdem zeigte die mehrmalige Wiederholung der Versuche, welche mit denselben Apparaten und unter denselben Umständen angestellt wurden, dafs die Temperatur, bei welcher sich derselbe Wieger auf derselben Unterlage zuerst in Schwingung versetzen läfst, nicht immer dieselbe war. Im Uebrigen stimmten die Versuche, die mit denselben Apparaten wiederholt angestellt wurden, so weit überein, dafs die Temperatur, welche das Thermometer beim gänzlichen Aufhören der Oscillationen angab, nur um wenige Grade differirte. Gewöhnlich gelang es bei unmittelbar auf einander folgenden Wiederholungen desselben Versuchs, den Ton bei einer etwas niedrigeren Temperatur als vorher zu erhalten. Vorgekommene gröfsere Abweichungen rührten von Mängeln des Apparats und andern Umständen her, welche noch zu erörtern sind.

Da die Temperatur, bis zu welcher herab die einzelnen Wieger auf den verschiedenen als Unterlage gebrauchten Körpern oscillirten, immer auf dieselbe Weise und mit denselben oder ähnlichen Apparaten bestimmt wurde, so haben die gefundenen Zahlen jedenfalls wenigstens einen relativen Werth und können in Ermangelung eines besseren Maafses für jetzt zur Vergleichung des Verhaltens der als Wieger

und Unterlage combinirten verschiedenen Körper dienen. Die Unterlage hat natürlich eine höhere Temperatur als die Luft im Zimmer, da ihr an der Berührungsstelle von dem Wieger fortwährend Wärme mitgetheilt wird; die Temperaturdifferenz zwischen dem Wieger und seiner Unterlage ist daher jedenfalls kleiner als die um die mittlere Zimmertemperatur von ungefähr 13° R. verringerte Temperatur, die am Thermometer zuletzt abgelesen wurde. Unter günstigen Umständen reicht, wie sich aus meinen Versuchen ergibt, ein sehr kleiner Temperaturunterschied zwischen dem Wieger und der Unterlage hin, um die Oscillation noch dauernd zu machen. Um die Versuche bei möglichst niedriger Temperatur anstellen zu können, müssen diese Umstände ermittelt, und um die Versuche vergleichbar zu machen, müssen die dem Erfolg günstigen Bedingungen immer so viel als möglich in demselben Grade erfüllt werden.

3. Form der kalten Unterlage.

Der Erfolg bei den Versuchen, d. h. die Möglichkeit, den Wieger auf einer gewissen Unterlage durch die anwendbare Hitze überhaupt in Schwingungen zu versetzen, oder diese Schwingungen bei einer möglichst niedrigen Temperatur zu erzielen, hängt von mehreren zusammenwirkenden Umständen ab, welche zunächst zu erörtern sind. Es kommt hier zuerst die Form des als Unterlage dienenden Körpers in Betracht. A. Seebeck hat den fruchtbaren Gedanken gehabt, die Unterlage in der Form von dünnen Drähten und Blechen anzuwenden, welche er in einem Schraubstock befestigte. Durch dieses Mittel gelangte er bei seiner Untersuchung zum Resultate, daß metallene Wieger auf solchen Unterlagen viel besser und leichter oscilliren, weil die lineare Ausdehnung und Zusammenziehung in Folge der Veränderung der Wärme bei Drähten und dünnen Blechen in vertikaler Richtung größer ist. Es gelingt auf diese Weise nicht bloß, einen kupfernen Wieger auf einer Unterlage von demselben Metalle tönen zu lassen, sondern der Versuch glückt sogar, wenn man ein Metall als Unter-

lage anwendet, welches die Wärme besser leitet, als das Metall, woraus der Wieger gefertigt ist. A. Seebeck stellt nach seinen Versuchen die Behauptung auf, daß jedes heiße Metall auf jedem kalten unter geeigneten Umständen in dauernde Schwingungen versetzt werden kann¹⁾. J. Tyndall hat dieselbe Methode bei seinen Versuchen angewendet und bemerkt am Schlusse seiner Abhandlung, daß der Erfolg seiner Versuche von der Vorsicht abhängig war, die Träger auf Schneiden und Spitzen zu reduciren, damit die Entziehung der Wärme einigermaßen vermieden sey²⁾.

Ich habe nach Seebeck's Anleitung von verschiedenen Metallen auf zugeschärften Blechen probirt und diese Methode ebenfalls vortreflich gefunden, wenn es sich nur darum handelt, die Oscillationen des Wiegers auf einer Unterlage von einer Substanz, die sich zu einem Bleche formen läßt, zu erhalten. Der kleine Schraubstock, welcher auf der Marmorplatte meines Apparats befestigt ist, hat in dieser Beziehung vortrefliche Dienste geleistet, indem die Versuche, wo die in demselben eingespannten Bleche die Träger waren, fast unter denselben Umständen angestellt werden konnten wie die übrigen. Es lassen sich aber nicht alle Körper, mit welchen der Trevelyan-Versuch gelingt, in der Form von Blechen als Unterlage anwenden. Ich habe deshalb bei der Mehrzahl meiner Versuche die Unterlagen, in der Form von Platten mit ebener Oberfläche, angewendet und, wie schon oben angegeben worden ist, auf die kreisförmige Marmorplatte aufgekittet. Um die Berührung des Wiegers mit der Unterlage auf die zwei vordern Endpunkte der untern Kanten zu beschränken, stellte ich das den Stiel des Wiegers unterstützende Stativ ein wenig höher, so daß die obere Fläche des Wiegers um einige Grade von der horizontalen Lage abwich.

Bei dieser Einrichtung des Apparats, für welche das Vorhandenseyn einer ebenen Fläche an dem zu prüfenden

1) l. c. pag. 19.

2) l. c. pag. 628.

Körper und sorgfältiges Aufkitten desselben fast die alleinigen Bedingungen für den Versuch unter übrigens gleichen Umständen sind, ist es mir gelungen, die tönenden Schwingungen von Wiegern aus verschiedenen Metallen auf sehr vielen als Träger dienenden Körpern, meistens bei überraschend niedriger Temperatur zu erhalten. Da so viel als möglich immer dieselben Umstände vorhanden sind, so ist ein entschieden negatives Resultat eines Versuches beinahe ebenso interessant als das Gelingen desselben. Ein anderer Vortheil dieser Methode besteht darin, daß nur kleine Proben der Substanz, welche als Träger der Substanz untersucht werden soll, zum Versuche erforderlich sind. Blechstückchen, ein Quadratcentimeter groß und ein Paar Millimeter dick, so wie kleine Krystalle, welche eine ebene Fläche von etwa 5 bis 6 Millimeter Durchmesser darbieten, sind zu dem auf diese Weise angestellten Versuche geeignet.

Die Temperatur, bis zu welcher ein Wieger erhitzt werden muß, um auf einer Blechschneide oder auf einer ebenen Platte von derselben Substanz in anhaltende Schwingungen versetzt zu werden, ist nicht dieselbe, sondern oft sogar so weit verschieden, daß der Wieger, in einzelnen Fällen auf eine Schneide gelegt, bei mäßiger Erwärmung schon anhaltend tönt, mit seinem vorderen Ende auf eine Platte von demselben Metall gelegt aber trotz der Anwendung großer Hitze nicht in dauernde Schwingungen versetzt werden kann. In anderen Fällen, d. h. bei Wiegern und Unterlagen von anderer Substanz, ist das Verhältniß nicht gerade umgekehrt; aber doch insofern anders, als der Wieger auf Schneiden nicht viel besser, bei einigen Combinationen sogar schlechter tönt als auf ebenen Unterlagen. Um dies an einigen Beispielen zu zeigen, theile ich in der folgenden Tabelle mehrere Versuche mit, welche ich anstellte, um das Verhalten eines kleinen kupfernen Wiegers und eines eisernen Wiegers von denselben oben angegebenen Dimensionen zu Blechschneiden und zu Unterlagen in Plattenform zu vergleichen. Der Kupferwieger wiegt nicht armirt 164 Grm., der Eisenwieger 147 Grm.; mit dem zu der Be-

stim
cylind
Zusa
auf
Grm
Zinn
ten-
stalt
Cent
Milli
Größ
ausg
Uhr
ches
Blec
war
vork
selb
platt
weic
erste
in
wel
Scal
ger
Col
wen
bra
Zim
sch

stimmung der Temperatur erforderlichen oben erwähnten cylindrischen Gefäße üben sie bei der oben beschriebenen Zusammenstellung des Apparats mit ihrem vordern Ende auf die Unterlage einen Druck von resp. 130 und 117 Grm. aus. Die Versuche sind mit Unterlagen aus Blei, Zinn, Zink, Cadmium, Eisen und gehärtetem Stahl in Platten- und Blechform angestellt. Die Platten haben die Gestalt von Rechtecken, ungefähr 2 Centimeter lang und $1\frac{1}{2}$ Centimeter breit, und haben eine Dicke von etwa 3 bis 4 Millimetern. Die Blechstückchen sind von verschiedener Gröfse und Stärke, aber zu einer möglichst gleichen Schneide ausgefeilt. Als Stahlblech habe ich ein Stückchen dünner Uhrfeder angewendet. Das Blei, Zinn und Cadmium, welches ich gebrauchte, war rein und zu der Platte und dem Bleche von demselben Stück genommen. Die Zinkplatte war aus starkem gewalztem Zinkblech, wie es im Handel vorkommt, gefertigt, und das dünne Zinkblech aus demselben Zinkstück durch Aushämmern bereitet. Die Stahlplatte ist sehr hart und polirt. Ueber das angewendete weiche Eisen sind nähere Angaben nicht zu machen. In der ersten Columne der Tabelle sind die Unterlagen bezeichnet, in den übrigen Columnen die Temperaturen angegeben, welche das beobachtete Thermometer mit Reaumur'scher Scala angab, wenn die dauernden Schwingungen der Wieger aufhörten. Die beiden Minus-Zeichen in der letzten Columne bedeuten, dafs der eiserne Wieger bei der angewendeten ziemlich bedeutenden Hitze nicht zum Tönen gebracht werden konnte. Die Versuche sind im geheizten Zimmer angestellt, wo die Temperatur der Luft durchschnittlich 13° R. war.

Tabelle I.

Die Unterlage besteht aus:	Der kupferne Wieger tönt		Der eiserne Wieger tönt	
	auf der Blech-scheibe bis	auf der Platte bis	auf der Blech-scheibe bis	auf der Platte bis
Blei	37° R.	30° R.	36° R.	33° R.
Zinn	49° R.	43° R.	65° R.	52° R.
Zink	29° R.	37° R.	34° R.	—
Cadmium	30° R.	44° R.	45° R.	70° R.
Eisen	38° R.	65° R.	80+° R.	53° R.
Stahl	49° R.	40° R.	80—° R.	—

Um die Wieger in dauernde Schwingungen zu versetzen, ist, wie schon bemerkt worden, eine höhere Temperatur erforderlich als die in der Tabelle angegebene. Bei Anwendung einer Unterlage von Blei dürfte eine um etwa 10° R. höhere Temperatur ausreichen, um den Anfang der Erscheinung herbeizuführen; bei den übrigen Körpern ist dazu eine viel bedeutendere Steigerung der Hitze erforderlich, namentlich bei den drei zuletzt angeführten Körpern. Ueberraschend sind die energischen Oscillationen, in welche die Wieger auch auf den scharfen Kanten der weichen Metalle gerathen, und die lauten Töne, welche dabei entstehen. Die Eindrücke, welche die Schneide des Blei- und Zinnbleches dabei von den Kanten des schwingenden Wiegers erhält, sind nur sehr unbedeutend und können dem Erfolge des Versuchs nicht wesentlich hinderlich seyn. A. Seebeck hat Bleche aus Blei, weil sie zu weich sind, nicht für anwendbar gehalten und deshalb sich des Zinkbleches bei seinen Versuchen bedient. Der Umstand, daß der eiserne Wieger auf den Unterlagen von Blei beinahe ebenso gut tönt als der kupferne, dagegen auf der Zinkplatte auch bei Anwendung von bedeutender Hitze nicht zum Oscilliren gebracht werden kann, während er auf Zinkblech vortrefflich tönt, ist sehr beachtenswerth und scheint mir darauf hinzudeuten, daß die Wärme-Wellen, welche vom Kupfer oder Eisen zum Zink oder Blei übergehen, in Folge der abweichenden Cohäsions-Verhältnisse dieser Körper verschieden seyn müssen, vielleicht in Beziehung auf Geschwin-

digkeit und Gestalt. Aus der verschiedenen grofsen Hebung und Senkung der Berührungspunkte des Wiegers mit der sich erwärmenden Unterlage dürfte die Verschiedenheit in dem Verhalten der betrachteten Körper kaum zu erklären seyn.

Bei meiner Einrichtung des Apparats konnte ich den Versuch leicht in der Weise anstellen, dafs ich den Wieger auf Unterlagen schwingen liefs, die aus verschiedener Substanz zusammengesetzt waren. Ich kittete nämlich zwei gleich dicke Platten, z. B. die eine von Blei und die andere von Glas, so nahe an einander auf die Marmorplatte, dafs ich den Wieger mit den beiden Enden der untern Kanten auf beide Platten zugleich legen konnte. Es zeigte sich, dafs der erhitzte Wieger auf solchen getheilten Unterlagen sehr gut tönt. Auf einer aus Blei und Steinsalz zusammengesetzten Unterlage gelingt der Versuch fast eben so gut als auf Blei. Ich habe, um über das Verhalten des Eisen-Wiegers zu Zink noch eine Erfahrung zu erlangen, die Temperatur bestimmt, bis zu welcher herab der eiserne und der kupferne Wieger auf Unterlagen tönen, welche aus Blei und Glas einerseits und Blei und Zink andererseits zusammengesetzt waren. Glas ist nach den von den früheren Beobachtern gemachten Erfahrungen zur Unterlage bei dem Trevelyan-Versuche wenig oder gar nicht geeignet. Zink ist in Form einer Platte zur Unterlage bei Anwendung eines eisernen Wiegers mindestens eben so unbrauchbar als Glas; denn ich habe unter sorgfältiger Anwendung der Hilfsmittel und Vorsichtsmaafsregeln, welche ich noch angeben werde, damit keinen Erfolg erhalten können, während es mir doch nach mehreren vergeblichen Versuchen gelungen ist, die beiden kleinen Wieger aus Eisen und Kupfer auf der ebenen Fläche eines Stücks weifsen Spiegelglases, allerdings bei grofser Hitze, in dauernde Schwingungen zu versetzen. Wenn ich aber Zink mit Blei zu einer plattenförmigen Unterlage für den eisernen Wieger combinirte, so zeigte es sich dazu viel geeigneter als Glas unter denselben Umständen. Der eiserne Wieger ist auf

der Unterlage von Blei und Zink leicht und bei einer Temperatur unter dem Siedepunkte des Wassers in Schwingung zu versetzen und tönt beinahe wie auf dem Blei, während er auf der Unterlage von Blei und Glas erst bei einer weit höheren Temperatur mit Umständen zum Schwingen zu bringen ist und weniger gut tönt. Das Resultat dieser Versuche wird am besten aus der folgenden Zusammenstellung ersehen werden. Ich muß noch bemerken, daß das mit der Glasplatte combinirte Stück Blei, welches sich gerade in geeigneter Dicke vorfand, nicht ganz rein zu seyn scheint.

Der kupferne Wieger tönte

auf der Unterlage von Blei und Zink bis	34° R.
auf dem Blei bis	29° R.
auf dem Zink bis	38° R.
auf der Unterlage von Blei und Glas bis	60° R.
auf dem Blei bis	32° R.

Der eiserne Wieger tönte

auf der Unterlage von Blei und Zink bis	42° R.
auf dem Blei bis	35° R.
auf der Unterlage von Blei und Glas bis	66° R.
auf dem Blei bis	40° R.

Keiner der beiden Wieger tönt unter Umständen, welche bei diesen Versuchen vorhanden waren, auf der Glasplatte allein; mit dem eisernen Wieger habe ich auf einer Zinkplatte überhaupt keinen Erfolg erzielen können.

(Schluß im nächsten Heft.)

V. Untersuchungen über die Sinnesthätigkeiten der Netzhaut; von Hermann Aubert in Breslau¹⁾.

Unsere Netzhaut hat als Sinnesorgan eine spezifische Energie, als empfindende Membran vermittelt sie die Wahrnehmung der räumlichen Ausdehnung, und da sie bewegt werden kann, die Wahrnehmung der relativen Lage eines Punktes im Raume; als lebendiges, in steter Veränderung begriffenes Organ hat sie eine von aussen her nicht unmittelbar zu erregende, subjective Thätigkeit. Ihre spezifische Energie ist Empfindung der Intensität und der Farbe des Lichtes: wir schreiben ihr daher 1) einen *Lichtsinn*, 2) einen *Farbensinn* zu. Ihre Fähigkeit, die Wahrnehmung der räumlichen Ausdehnung zu vermitteln, nennen wir 3) *Raumsinn*, während wir die Fähigkeit, die Lage eines Punktes im Raume oder seinen Ort zu bestimmen, als 4) *Ortsinn* bezeichnen. Die Gränzen dieser Sinne, ihr Zusammenwirken und ihre Abhängigkeit von einander sind zu bestimmen.

- 1) In diesem Aufsätze sind die Resultate von Beobachtungen zusammengefaßt und hie und da erweitert, welche der Verfasser im Laufe einiger Jahre in einzelnen Mittheilungen veröffentlicht hat, worin das Speciellere zu finden ist. Es sind folgende:

Untersuchungen über den Raumsinn der Retina von Dr. Aubert und Dr. Foerster, Archiv für Ophthalmologie III, 2 (1857) S. 1 bis 36.

Ueber die Gränzen der Farbenwahrnehmung auf den seitlichen Theilen der Retina von Dr. H. Aubert. Ebendasselbst S. 38 bis 64.

Ueber den Einfluß der Entfernung des Objects auf das indirecte Sehen, in Moleschott's Untersuchungen Bd. IV, S. 16.

Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherischen Theilen der Netzhaut. Moleschott's Untersuchungen Bd. IV, S. 215.

Ueber die durch den elektrischen Funken erzeugten Nachbilder. Ebendasselbst Bd. V, S. 279.

Beiträge zur Physiologie der Netzhaut (I) in den Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft, Abtheilung für Naturwissenschaften und Medicin, Heft I (1861), S. 49.

I. Raumsinn.

Webers Methode, die Feinheit des Raumsinnes der Haut zu bestimmen beruht darauf, daß man untersucht, wie weit von einander entfernte Punkte als distinct wahrgenommen werden können. Dasselbe kann bei der Netzhaut geschehen, indem man bestimmt, wie weit zwei leuchtende Punkte von einander entfernt seyn können, um als distinct gesehen zu werden. Diese Feinheit ist in der Gegend des blinden Loches der Netzhaut am größten; deswegen richten wir unsere Augenaxen auf Punkte oder Objecte (Aggregate von Punkten) die wir genau sehen wollen. Daher rührt wohl der Name *visio directa*, während man *visio indirecta* das Sehen mit den übrigen Theilen der Netzhaut nennt.

Mit dem *Centrum* der Netzhaut scheinen die besten Augen noch zwei um einen Gesichtswinkel von 30 Sekunden von einander entfernte Punkte als distinct zu sehen (Hoo c k). Ich selbst kann Doppelquadrate von je 10 Millim. Seite und Distanz von einander unter folgenden Gesichtswinkeln (10 Millim. dividirt durch die Entfernung des Auges vom Objecte = tang. des Gesichtswinkels) als zwei Punkte erkennen:

Weisse Quadrate auf schwarzem Grunde unter	0' 55"
Orange, rosa, hellgelbe Quadrate auf Schwarz	
unter	0' 59"
Hellblaue und schmutzigrothe Quadrate auf	
Schwarz unter	1' 8"
Schwarze, rothe, braune, blaue Quadrate auf	
Weiß unter	1' 8"

Um die übrigen Regionen unserer Netzhaut zu untersuchen, müssen wir indirect sehen, d. h. also die Bilder der Objecte auf *peripherischen* Theilen der Netzhaut sich entwerfen lassen. Während dessen dürfen keine Bewegungen des Auges stattfinden. Um dieselben mit Sicherheit auszuschließen, bedienten wir (Förster und ich) uns, nach Volkmanns Vorgange, der Beleuchtung durch den elektrischen Funken und wendeten folgende Vorrichtung

bei den Versuchen an. Als Objecte dienten Papierbogen von 2 Fufs Breite und 5 Fufs Länge, auf welche Ziffern und Buchstaben in gleich grossen Zwischenräumen von einander gedruckt waren (Fig. 7 Taf. I, A). Diese Bogen (A) konnten über horizontale Walzen so gerollt werden, dass für jeden Versuch neue, unbekannte Ziffern und Buchstaben eingestellt wurden. Die Ziffern werden durch den Funken einer sich selbst entladenden Riefs'schen Flasche B beleuchtet, und durch eine gehörig weite schwarze Röhre C während des Ueberspringens des elektrischen Funkens beobachtet. In diesem Momente erkennt der Beobachter eine Anzahl Ziffern und Buchstaben, und da deren Entfernung von einander, so wie ihre Entfernung vom Auge bekannt ist, so lässt sich berechnen, mit einem wie grossen Felde der nicht bewegten Netzhaut Objecte von gewisser Grösse erkannt worden sind.

In Betreff der näheren Angaben, der Vorsichtsmaassregeln usw. verweise ich auf Gräfe's Archiv für Ophthalmologie III, 2, p. 4 und führe hier nur folgende Ergebnisse jener Versuche an:

1) Je weiter ein Object von der Augenaxe entfernt ist, um so grösser muss es seyn, wenn es deutlich erkannt werden soll.

2) Die Fähigkeit des Wahrnehmens nimmt nicht in concentrischen Kreisen um die Augenaxe ab, sondern sie nimmt schneller nach oben und unten, langsamer nach aufsen und innen ab.

3) Bei gleichem Gesichtswinkel werden entferntere Objecte in einem beschränkteren Felde um die Sehaxe erkannt, als nähere Objecte.

Diese Sätze wurden bestätigt durch eine zweite Methode, indem wir einen Punkt fest und dauernd mit einem Auge fixirten und von diesem Punkte, als dem Centrum, die zur Untersuchung dienenden Objecte nach der Peripherie, d. h. nach oben, unten, aufsen usw. so weit hin schoben, bis sie nicht mehr distinct gesehen werden konnten. Als Objecte dienten schwarze Doppelpunkte auf weissem Papier, wel-

ches an einer Fig. 8, Taf. I ähnlichen Vorrichtung von C, dem fixirten Punkte, nach der Peripherie des Bogens *a* und *b* geschoben wurde, bis die beiden Punkte nicht mehr als zwei unterschieden werden konnten. (Gräfe's Archiv III, 2 p. 14 u. 40.)

Den aufgestellten Sätzen kann durch diese Untersuchungen nach der zweiten Methode folgende präzisere Form gegeben werden:

- 1) Zwei nebeneinander liegende Punkte werden durch indirectes Sehen in um so größerer Entfernung seitlich von der Augenaxe noch als distincte Punkte erkannt, je weiter sie von einander entfernt sind.

- 2) Die Abnahme der Fähigkeit, zwei Punkte distinct wahrzunehmen, oder die Abnahme des Raumsinnes ist in den verschiedenen Meridianen der Netzhaut sehr ungleich. Anschaulich wird dieser Satz sogleich aus Fig. 9, Taf. I, wo die punktierte Linie die Gränze anzeigt, an der die Unterscheidbarkeit der Doppelpunkte (von einer bestimmten Entfernung von einander) aufhörte.

- 3) Der dritte Satz enthält zweierlei Bedingungen, welche gesondert zu betrachten sind:

- a) Die Entfernung der zu untersuchenden Objecte vom Auge ändert sich nicht; die Verkleinerung des Gesichtswinkels wird durch Verkleinerung des Objects hervor-
gebracht.

Neuere Bestimmungen, deren ausführliche Veröffentlichung nächstens erfolgen soll, haben Folgendes ergeben: Für den äußeren horizontalen Meridian meines linken Auges in 1 Meter Entfernung von demselben können schwarze Quadrate auf weißem Grunde als zwei unterschieden werden:

von 20 Mm. Seite und Distanz innerhalb 17° vom Centrum

" 10 " " " " " " 11⁰ " " "

5 " " " " " 80 " "

2 3¹⁰

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1

» $\frac{1}{3}$ » » » » nur im Centrum.

In diesem Falle nimmt die Größe des Gesichtsfeldes für das

deutliche Sehen, oder die Feinheit des Raumsinnes von der Peripherie nach dem Centrum in steigender Progression zu. Hiermit sind die älteren Bestimmungen nach der ersten und zweiten Methode durchaus im Einklange. (Gräfe's Archiv III. 2, p. 11 u. p. 28.)

b) Die Verkleinerung des Gesichtswinkels für die Objecte wird durch Entfernung derselben vom Auge hervor gebracht.

Das geschah mittelst des in Fig. 10, Taf. I dargestellten Apparates, an welchem der fixirte Punkt *F* und das indirect zu sehende Object *O* dem Auge von 1 Meter bis zu 0,2 Meter genähert werden, und das Object jederseits bis 90° von dem fixirten Punkte, oder von der Augenaxe entfernt werden konnte. Die Untersuchungen, welche ausführlich in Moleschott's Untersuchungen Bd. IV, S. 16 mitgetheilt sind, haben ergeben: *dafs bei der Vergrößerung des Gesichtswinkels eines Objects durch Annäherung desselben an das Auge das Gesichtsfeld für das deutliche Sehen (oder die Feinheit des Raumsinnes) nahezu proportional zunimmt, mit Ausnahme der sehr peripherisch gelegenen Netzhautregionen (cf. Fick in Canstatt's Jahresbericht für 1858 p. 11).*

4) Bei diesen Versuchen war die Lage der Punkte oder Quadrate gegen den Meridian der Netzhaut so, *dafs eine gerade Linie zwischen ihren Centren rechtwinklig gegen den Meridian stand.* In einer Reihe von Versuchen wurden die Quadrate so gestellt, *dafs jene Verbindungslinie parallel zu dem Meridian lag.* Es zeigten sich hierbei indess nur unbedeutende und in entgegengesetztem Sinne schwankende Differenzen, woraus man schliessen mufs, *dafs die sogenannten Empfindungskreise (Weber) auf der Retina rund sind.*

5) Die Augen zeigen beträchtliche individuelle Verschiedenheiten in Bezug auf die Schärfe des indirecten Sehens, auch differiren die Augen ein und desselben Beobachters.

6) Der blinde Fleck, welcher bei den Bestimmungen

oft unbequem ist, ist nicht als zwischen die Retinaelemente eingeschoben, sondern als wirklicher Defect der Retina anzusehen, denn an der äußeren Seite desselben ist die Distinctionsfähigkeit bedeutend geringer, als an seiner inneren Seite.

7) Die Abnahme der Feinheit des Raumsinnes nach der Peripherie der Netzhaut hin beruht nicht auf einer Wirkung der brechenden Medien des Auges, sondern scheint, wie bei der Haut, auf die Anordnung der empfindenden Elementartheile bezogen werden zu müssen. Denn a) wären Zerstreuungskreise die Ursache, daß man über eine gewisse Zone der Retina hinaus zwei Punkte nicht distinct sieht, so hätten diese an scheinbarer GröÙe zu-, an Intensität der Schwärze abnehmen müssen, bis endlich die beiden Scheiben einander gedeckt hätten. So ist aber die Erscheinung keineswegs; vielmehr erscheinen die Objecte vollkommen schwarz, durchaus nicht verwaschen, aber dennoch bleibt man über ihre Form im Unklaren. Das zeigte sich sowohl bei den Versuchen mit momentaner, als bei denen mit continuirlicher Beleuchtung. b) Umgekehrt können Objecte mit großen Zerstreuungskreisen und breitem grauen Rande erscheinen, und doch sehr wohl unterschieden und erkannt werden, wenn die Bilder dem Centrum nahe genug liegen. c) Das Bild von hellen 10 Mm. von einander entfernten Punkten, welches auf der hintern Oberfläche eines pigmentlosen Kaninchenauges entworfen wurde, lieÙ am Aequator des Auges so gut als am hinteren Pole deutlich 2 distincte Punkte erkennen. Bei dem jetzigen Stande der Untersuchungen über die Nervenendigungen in der Netzhaut scheint eine Zurückführung physiologischer Erscheinungen auf die anatomische Bildung der Netzhaut in weite Ferne gerückt zu seyn (cf. M. Schultze, *Observationes de retinae structura penitiori* Bonn 1859, nach dessen Angaben auch die Stäbchen nervöser Natur seyn sollen).

8) Auch die geringere Lichtintensität auf den peripherischen Netzhauttheilen (cf. Förster, Hemeralopie S. 32) kann nicht als die Ursache der oben mitgetheilten That-

sachen angesehen werden, da dieselbe erstens nur auf den dem Aequator sehr nahen Zonen erheblich schwächer ist, als im Centrum, und zweitens dieselbe durch die Erregbarkeit und Gewöhnung dieser Theile wohl vollkommen ausgeglichen wird, worüber wir beim Lichtsinne noch zu sprechen haben.

9) Der seltsame Einfluss, welchen die Entfernung des Objectes vom Auge auf die Erkennbarkeit mittelst indirecten Sehens ausübt, hängt vielleicht von einer bei der Accommodation vorkommenden Verschiebung der Retinaelemente ab. Cf. Moleschott Bd. V, p. 33 und Czermak Gräfe's Archiv Bd. VII, 1. p. 152.

Wenn man unter »Raumsinn« nach der von mir (Moleschott Bd. V, p. 174) gegebenen engeren Begränzung die Fähigkeit versteht, »zwei Punkte distinct zu empfinden«, unter »Ortsinn« dagegen die Fähigkeit, »die Lage eines Punktes auf unsrer Haut, oder seinen Ort im Raume zu bestimmen«; so beziehen sich die vorstehenden Untersuchungen nur auf den eigentlichen Raumsinn, und es zeigt sich, dass eine große Uebereinstimmung zwischen Haut und Netzhaut in Beziehung auf den Raumsinn besteht. Ueber den Ortsinn sind aber bisher nur gelegentlich Bestimmungen gemacht worden, z. B. bei den Untersuchungen über den Horopter und die Bewegungen der Augen, während Beobachtungen über die Genauigkeit, mit der wir die Lage eines Punktes in unserm Gesichtsfelde bestimmen können, bis jetzt noch nicht in der Weise angestellt worden sind, dass sich eine Parallele zwischen Haut und Netzhaut ziehen ließe.

Im Sinne der Psychophysik sind obige Bestimmungen nur Gränzwerte für die Reizschwelle, oder absolute Schwellenwerte. Untersuchungen über die Unterschiedsempfindlichkeit der Netzhaut in Bezug auf räumliche Ausdehnung (Augenmaass) haben bisher nur Volkmann und Fechner angestellt. (Fechner, Elemente der Psychophysik Bd. I, p. 214.)

II. Lichtsinn.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß zum Sehen eine gewisse Intensität der Beleuchtung erforderlich ist und daß, je kleiner bis zu einem gewissen Grade Objecte oder Bilder sind, eine um so intensivere Beleuchtung zum Erkennen derselben nöthig ist. Wir müssen aber hier unsere Aufmerksamkeit noch auf einen andern Punkt wenden.

Wenn wir eine schwarze Linie auf einem weißen Blatt Papier bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung betrachten, so unterscheidet sich dieselbe stark und deutlich von dem Grunde; verdunkelt man das Zimmer, oder bringt man vor das Auge dunkle (graue oder farbige) Gläser, so wird der Unterschied zwischen der schwarzen Linie und dem hellen Grunde immer geringer und endlich sieht man nur noch das Blatt Papier ohne die schwarze Linie. Zieht man dagegen auf weißem Papier eine so matte graue Linie, daß sie sich nur eben noch von dem umgebenden Grunde unterscheiden läßt, und verdunkelt das Zimmer oder das Gesichtsfeld; so bleibt die matte graue Linie bis zu sehr hohen Graden der Verdunklung ebenso gut sichtbar, als sie bei voller Tagesbeleuchtung gewesen ist.

Dieser letztere Versuch ist der Grundversuch für Fechner's sehr wichtiges psychophysisches Gesetz: „daß der Empfindungsunterschied derselbe bleibt, wenn der Lichtunterschied bei seiner Abschwächung ein ungeändertes Verhältnis zu seinen in gleichem Grade abgeschwächten Componenten behält.“ (Fechner, Abhandlungen der Leipziger Gesellschaft der Wissenschaften Bd. IV, p. 458 und Psychophysik Bd. I, p. 134 u. f.) Hier ist dem hellen grauen Streifen ebensoviel Licht entzogen worden, als dem Weißen, der *Lichtunterschied* zwischen beiden ist also derselbe geblieben und *bleibt es auch für die Empfindung*. Im ersten Falle dagegen ist, wie man leicht einsieht, eine Aenderung in dem Verhältnisse der beiden Componenten zu einander eingetreten, denn dem Schwarz ist fast gar kein Licht durch die Verdunklung entzogen worden, es ist nahezu constant geblieben; wohl aber ist dem Weißen Licht entzogen worden:

die Differenz zwischen den beiden Componenten ist daher mit Zunahme der Verdunklung geringer geworden.

Nur für den Fall, daß der Unterschied zwischen den beiden Componenten sich ändert, ist Rücksicht auf den Einfluß genommen worden, welchen die *Größe oder räumliche Ausdehnung* der beiden Componenten auf ihre Sichtbarkeit ausübt. Förster hat zuerst den Satz klar ausgesprochen, daß *die Größe des Gesichtswinkels und die Intensität der Beleuchtung in einem umgekehrten Verhältnisse zu einander stehen*. Er sagt (Hemeralopie p. 1): »Gesichtswinkel und Helligkeit sind gleichsam die beiden Faktoren, aus denen die Schärfe der Eindrücke, welche wir durch unser Auge empfangen, resultirt. Je kleiner der eine ist, desto größer muß der andere seyn, wenn noch eine Wahrnehmung zu Stande kommen soll — sie ergänzen sich gegenseitig.« Derselbe hat dieses eigenthümliche Verhältniß des *Raumsinnes zum Lichtsinne* mittelst seines Photometers bei gesunden, besonders aber bei hemeralopischen Augen untersucht. Auch ich habe darüber viele Untersuchungen angestellt mit denselben Objecten, die ich bei den Versuchen über das indirecte Sehen usw. benutzt habe, führe indess hier nur eine mit den Jäger'schen Tafeln ausgeführte Versuchsreihe an.

Die Versuche wurden in einem gänzlich verfinsterten Zimmer angestellt, in welches nur durch eine einzige Oeffnung, deren Größe beliebig verändert werden konnte, diffuses Tageslicht eingelassen wurde. Die Jäger'schen Tafeln befanden sich dabei in der Entfernung von 1 Meter sowohl von der Diaphragmaöffnung, als auch von meinen Augen; ich gebrauchte beide Augen. Es war sehr auffallend, wie bei gewissen Nummern der Jäger'schen Tafeln eine bestimmte Beleuchtung durchaus unzureichend für das Erkennen der Buchstaben war, und eine nur um wenig stärker Beleuchtung vollkommen dazu genügte.

Seite der quadratischen Oeffnung des Diaphragmas	Nummern der Jäger'schen Tafeln.
$\frac{1}{2}$ Ctm.	0
$\frac{1}{2}$ »	von No. 20 nur ein großes D
1 »	20 gut — 19 mangelhaft
$1\frac{1}{2}$ »	19 gut — 18 gut — von 17 nur den Anfang
2 »	17 und 16
$2\frac{1}{2}$ »	15 sehr mangelhaft
3 »	15 gut — 14 einzelne Buchstaben
$3\frac{1}{2}$ »	14 ziemlich gut
4 »	13 kaum einzelne Worte
$4\frac{1}{2}$ »	13 mangelhaft
5 »	13 gut
6 »	12 einzelne Worte
7 »	12 mangelhaft
8 »	12 gut — 11 gut — 10 den Anfang
9 »	10 einzelne Worte
10 »	10 gut
15 »	9 gut — 8 mangelhaft
20 »	8 gut — 7 gut — 6 nur den Anfang
im vollen Tageslichte	5 gut — 4 mangelhaft — von 3 nur einzelne Buchstaben

Worauf beruht dieses eigenthümliche Verhältniß zwischen Raumsinn und Lichtsinn?

Zur Lösung dieser Frage würden zunächst darüber Experimente anzustellen seyn, wie sich unter den von Fechner gegebenen Bedingungen, wo sich die Objecte sehr wenig von dem Grunde unterscheiden, der Raumsinn verhält, oder welchen Einfluss die *Größe wenig contrastirender Objecte* auf die Wahrnehmbarkeit derselben ausübt. Dieser Einfluss ist bisher nicht genauer untersucht worden. Wie aber bei Fechner's Versuchen eine untere Gränze für die Gültigkeit des psychophysischen Gesetzes durch die subjective Thätigkeit (die innere Lichtentwicklung der Netzhaut) gesetzt wird; so wird sich diese auch unter den von Förster und mir gegebenen Bedingungen geltend machen, und die Differenz zwischen Object und Grund auslöschen. Außerdem dürfte wohl die im Finstern auftretende Erweiterung der Pupille und die in Folge davon auftretende Mitwirkung der unvollkommenen sich vereinigenden Randstrahlen von Einfluss seyn. Vielleicht ist auch die Irradia-

tion im Dunkeln stärker als im Hellen, worüber noch keine Untersuchungen existiren, eine Annahme, die nach den Volkmann'schen Untersuchungen, wonach auch das Schwarz irradiirt (Leipziger Berichte 1857 p. 143) wohl zu machen wäre. Darüber werden also noch Untersuchungen anzustellen seyn, worauf dieses Verhalten des Raumsinnes zum Lichtsinne beruht. Das geht aber aus den obigen Bestimmungen hervor, dafs der von Masson citirte Satz Bouguers »*la sensibilité de l'oeil est indépendante de l'intensité de la lumière*« in dieser Allgemeinheit unrichtig ist.

Die erwähnten Versuche beziehen sich nur auf das directe Sehen; wir haben nun den Lichtsinn der peripherischen Netzhauttheile zu berücksichtigen.

Der erste, welcher auf die Verhältnisse der Lichtintensität in den verschiedenen Regionen der Netzhaut aufmerksam gemacht hat, scheint Mile (d. Ann. Bd. 42, p. 239) gewesen zu seyn. »Die Gegenstände werden, je weiter sie von der Augenaxe im Gesichtsfelde entfernt sind, nicht nur undeutlicher, sondern auch *dunkler* gesehen, bis ein Aufhören des Sehens durch den Mangel der Lichtstrahlen entsteht. Die Ursache davon ist aber die Lage des Sehlöches gegen den Lichtbüschel, weil es nämlich gegen die seitlichen Strahlen als ein sich verengender elliptischer Ring zu betrachten ist, welcher immer mehr Strahlen von ihnen abschneidet, bis es die zu sehr seitwärts entfernten, gegen die der Ring zur Linie wird, gar nicht hineinläfst.« Dafs eine derartige Verminderung der Lichtintensität auf den peripherischen Regionen der Netzhaut eintreten mufs, haben auch Förster und ich auseinandergesetzt; indess ist es nicht richtig, dafs man die Gegenstände mit jenen Regionen der Netzhaut *dunkler* sehe. Für gewöhnlich bemerkt man gar keinen Unterschied in der Helligkeit eines Bildes, welches im Centrum oder auf die Peripherie der Netzhaut fällt, ja es wird behauptet, die peripherischen Netzhautregionen hätten eine *größere Empfindlichkeit* für Lichteindrücke, als die centralen.

Mehrere Versuchsreihen, die ich zur Feststellung dieses Verhältnisses ausgeführt habe, haben ergeben, daß die *Unterschiede in der Helligkeit zwischen Wahrnehmungen mittelst der Peripherie und des Centrums der Netzhaut im Ganzen sehr gering* sind, aber allerdings *etwas zu Gunsten des Centrums* auszufallen scheinen. (cf. Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft 1861 Heft I p. 16.) Die Versuche bieten vielfache Schwierigkeiten dar; eine Hauptschwierigkeit liegt aber in der Beurtheilung der grösseren oder geringeren Helligkeit eines Objectes, wenn es bald mit dem Centrum, bald mit einer peripherischen Stelle der Netzhaut gesehen wird; denn im ersten Falle erscheint es zugleich schärfer begränzt, folglich deutlicher, im zweiten Falle ist es verwaschen. Diese Unterschiede in der *Deutlichkeit* sind so bedeutend, daß es schwer hält, die viel unbedeutenderen Unterschiede in der Helligkeit gleichzeitig mit Schärfe aufzufassen.

Mit diesem Resultate meiner Versuche scheint mir folgende aprioristische Betrachtung sehr zu stimmen: Unsere Netzhaut accommodirt sich bis zu einem sehr hohen Grade der Beleuchtung. Ist man Tage lang in einem stark verdunkelten Zimmer gewesen, so hält man es für eben so hell, als ein vom vollen Tageslichte beleuchtetes Zimmer und kann eben so gut darin lesen usw., wenn gleich ein eben in jenes verdunkelte Zimmer Eintretender fast nichts erkennt. Ohne Zweifel würden wir, wenn wir einige Jahre in halb so starker Beleuchtung gelebt hätten, alles eben so hell finden und eben soviel sehen können als jetzt; wir würden keinen Unterschied bemerken. In einem derartigen Zustande müssen sich aber die peripherischen Zonen unserer Netzhaut befinden. Es muß dort eine Zone existiren, die von Anfang unsres Lebens an immer nur halb so stark beleuchtet worden ist, als der gelbe Fleck. Diese wird nun auch von der halben Lichtmenge eben so stark afficirt werden, als das Centrum von der ganzen Lichtmenge; dasselbe wird von den übrigen Zonen der Netzhaut gelten. Der Lichteindruck oder die Lichtempfindung wird mithin auf



allen Theilen der Netzhaut gleich oder nahezu gleich seyn. Aus Miles ganz richtiger Betrachtung, daß die peripherischen Netzhautregionen weniger Licht bekommen, folgt also nicht, daß dort die Gegenstände dunkler erscheinen müssen; vielmehr muß die *Lichtempfindung* dort eben so stark seyn, als im Centrum, womit, wie bemerkt, die Erfahrung im Einklange ist.

Andere Beziehungen des Lichtsinnes, namentlich sein Verhältniß zum Farbensinne werden im Folgenden noch besprochen werden.

III. Farbensinn.

Raum- und Lichtsinn können unabhängig von dem Farbensinne bestehen und würden zu unserer Orientirung in der Außenwelt genügen; der Farbensinn dagegen ist abhängig sowohl von dem Raumsinne, als auch von dem Lichtsinne und zwar in mehreren Beziehungen.

A) Die Wahrnehmbarkeit einer Farbe ist abhängig von der Größe der farbigen Fläche, und zwar sowohl beim directen als beim indirecten Sehen.

Im diffusen Tageslichte erscheint auf schwarzem Grunde ein orange oder gelbes Quadrat höchstens noch unter einem Gesichtswinkel von 39° farbig, ein rothes unter einem Gesichtswinkel von 59°, ein hellgrünes oder hellblaues unter 1' 8", ein blaues (Kornblumenblau) erst bei 4' 17"; — auf weißem Grunde ein orange Quadrat bei 1' 8", ein rothes bei 1' 43", ein hellgrünes bei 1' 54", ein hellblaues bei 2' 17", ein blaues (Kornblumenblau) bei 5' 43" als farbig. Werden die Gesichtswinkel noch kleiner, so erscheinen die farbigen Flächen als dunkle Punkte auf weißem, als helle Punkte auf schwarzem Grunde, ohne daß eine Färbung an denselben bemerkbar ist. Ueber die Anstellung der Versuche siehe Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft p. 74.

Bemerkenswerth ist hierbei, daß mehrere Farben bei kleinem Gesichtswinkel zwar farbig erscheinen, aber nicht

die ihnen eigenthümliche Farbe zeigen. So erschien Orange auf Schwarz bei 59" unbestimmt röthlich und erst bei 59" orange; Rosa auf Schwarz erschien bei 39" hellgrau, bei 59" gelb, bei 1' 8" goldgelb, bei 1' 23" röthlich hellgelb und erst bei 3' 49" deutlich rosa. Hellgrün auf Schwarz konnte von Hellblau bei 1' 8" noch nicht unterschieden werden; erst bei 1' 49" erschien es deutlich grün.

In diesen Versuchen wurde also bestimmt, unter welchem Gesichtswinkel eine Farbe erkennbar wird, wenn man sie mit dem Centrum der Netzhaut sieht. In einer andern Reihe von Versuchen habe ich Bestimmungen über die Erkennung der Farben mittelst *indirecten* Sehens gemacht, indeß mit der Modification, daß die Entfernung der farbigen Quadrate von dem Auge constant blieb, und die Größe der Quadrate verschieden genommen wurde; daß ferner der Punkt bestimmt wurde, wo das Quadrat *nicht mehr farbig* erschien (Gräfe's Archiv III, 2 p. 41).

Zu den Versuchen diente der Apparat Fig. 8, Taf. I, in welchem *C* fixirt wurde, und ein farbiges Quadrat auf einer weißen oder schwarzen Karte an dem Bogen von *C* nach *a* und *b* geschoben wurde, bis die Farbe verschwand und nur ein helles oder dunkles Quadrat sichtbar war. Am angeführten Orte befinden sich ausführliche Uebersichten meiner Resultate; ich werde mich hier beschränken, nur Mittelzahlen von einer einzigen Farbe, in einer mit den beim directen Sehen und der beim Raumsinne erlangten Resultaten vergleichbaren Form zu geben. Es wurden als farbig erkannt in 20 Ctm. Entfernung vom Auge:

a) auf *weißem* Grunde *rothe* Quadrate von:

1 Mm. Seite	=	17' 12"	innerhalb	16°
2 " "	=	34' 24"	"	19°
4 " "	=	1° 8' 50"	"	26°
8 " "	=	2° 17'	"	37°
16 " "	=	4° 34'	"	44°
32 " "	=	9° 8'	"	55°

b) auf schwarzem Grunde rothe Quadrate von:

1 Mm. Seite	=	17' 12"	innerhalb	30°
2 " "	=	34' 24"	"	32°
4 " "	=	1° 8' 50"	"	42°
8 " "	=	2° 17'	"	53°
16 " "	=	4° 34'	"	58°
32 " "	erschieden auf der ganzen			
	Retina farbig.			

Nicht bedeutend waren davon blaue, gelbe und grüne Quadrate verschieden.

Aus diesen Versuchen lassen sich folgende Sätze ableiten:

1) Je kleiner der Gesichtswinkel für eine farbige Fläche ist, um so näher muß sie dem Retinalcentrum gebracht werden; damit sie farbig erscheine. Bei Verkleinerung über einen gewissen Gesichtswinkel hinaus erscheint sie auch im Centrum selbst nicht mehr farbig.

2) Sowohl im Centrum, als auf der übrigen Retina wird die Farbenempfindung durch die Umgebung der farbigen Fläche sehr beeinflusst, was mit der GröÙe des Contrastes zwischen der Farbe und dem Grunde zuzunehmen scheint. Auch erscheint eine kleine, aber noch deutlich farbige Fläche auf hellem Grunde dunkler, auf schwarzem Grunde heller nāncirt, sowohl beim directen als beim indirecten Sehen.

3) Die verschiedenen Farben zeigen in ihrer Wahrnehmbarkeit dem Centrum gegenüber gröÙere Abweichungen von einander, als für die peripherischen Regionen der Netzhaut, obgleich sie auch hier keineswegs ganz gleiches Verhalten darbieten.

4) Die Feinheit des Farbensinnes nimmt in den verschiedenen Netzhautmeridianen ungleich schnell ab, ebenso wie wir es auch bei dem Raumsinne gesehen haben. Hierzu finden sich die Beläge in Gräfe's Archiv III, 2 p. 47.

5) Die Ursache der verschiedenen Feinheit des Farbensinnes auf Peripherie und Centrum ist nicht in der schnellen Ermüdung, welche allerdings für Licht und Farbe

auf den peripherischen Regionen eintritt, zu suchen, sondern dürfte wohl in ähnlicher Weise, wie die Feinheit des Raumsinnes in der Anordnung oder Anzahl der empfindenden Elementartheile zu suchen seyn.

6) Dafs in Bezug auf Temperaturempfindungen ähnliche Verhältnisse bei der Haut, wie in Bezug auf Farbensinn an der Netzhaut vorkommen, haben Fick und Wunderli (Moleschott's Untersuchungen Bd. VII, p. 1) nachgewiesen.

Alle diese Bestimmungen sind im Sinne der Psychophysik, wie sie von Fechner begründet ist, »Schwellenwerthe,« und zwar bezüglich auf »intensive Reizschwelle.« (Psychophysik I, p. 240 u. 255.)

B) Die Wahrnehmbarkeit einer Farbe ist abhängig von der Intensität der Beleuchtung.

Es giebt eine obere und eine untere Gränze der Lichtintensität für die Wahrnehmbarkeit einer Farbe, denn die Intensität der Färbung wird ebensowohl schwächer, wenn die Beleuchtung sehr stark und blendend wird, wie wenn dieselbe sehr vermindert wird. Letztere Gränze habe ich zu finden gesucht und zwar durch Beobachtung farbiger Pigmente mit Beschränkung des diffusen Tageslichtes.

Die Versuche wurden in einem Zimmer angestellt, in welches nur an einer einzigen Stelle durch die Oeffnung eines Diaphragmas, welche von 0 bis $(20 \text{ Ctm.})^2$ erweitert werden konnte, Licht eindrang. Vor dem Beginn der Versuche accommodirte ich mich für die Dunkelheit. In etwa 1 Meter Entfernung von der Oeffnung des Diaphragmas befanden sich die farbigen Objecte, und in gleicher Entfernung von denselben befanden sich meine Augen. Die Objecte waren theils farbige Doppelquadrate von je 10 Mm. Seite und Distanz von einander, theils gröfsere Quadrate von 60 Mm. Seite. Die ersteren befanden sich sowohl auf schwarzem, als auf weifsem Grunde; die letzteren nur auf schwarzem Grunde. Bei den Versuchen wurde, nach gehöriger Accommodation der Augen für die Dunkelheit, dem Diaphragma zuerst die kleinste Oeffnung $= (\frac{1}{4} \text{ Ctm.})^2$ gegeben,

und notirt, was von Farben zu sehen war; dann eine Oeffnung von $(\frac{1}{2} \text{ Ctm.})^2$ eingestellt und sofort bis zu $(20 \text{ Ctm.})^2$, oder bis alle Objecte, deren Farbe ich übrigens vorher nicht wufste, erkannt worden waren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe, bei der jedoch nur die Quadrate auf schwarzem Grunde berücksichtigt sind. Die Zahlen der ersten Columnne bezeichnen die Gröfse der Seite, welche der quadratischen Diaphragmaöffnung gegeben worden war; daneben stehen die bei dieser Lichtmenge erkannten Farben. Wenn dieselben eingeklammert sind, so bedeutet das, dafs sie noch nicht in ihrer wirklichen Farbe erschienen.

Gröfse der Oeffnung	Doppelquadrate von je 1 Ctm. Seite und Distanz auf schwarzem Grunde
$\frac{1}{4} - \frac{1}{2} - 1$	0
$1\frac{1}{4}$	(Orange erscheint roth)
$1\frac{1}{2}$	(Orange erscheint roth)
2	Orange, Gelb, Roth, Rosa
3	Hellblau, Braun (Hellgrün)
$3\frac{1}{2}$	Hellgrün
5	Blau (Grün)
8	Grün

In einer andern Versuchsreihe wurden die gröfseren Quadrate geprüft und ergaben Folgendes:

Gröfse der Oeffnung	Quadrate von 60 Mm. Seite auf schwarzem Grunde
$\frac{1}{4}$	Orange, Roth
$\frac{1}{2}$	(Blau)
1	Blau, Gelb, Rosa, Hellgrün

Aus diesen Versuchen ergibt sich Folgendes:

1) Bei sehr geringer Lichtintensität kann die Farbe einer kleinen farbigen Fläche nicht erkannt werden. Die meisten Quadrate auf Schwarz und sämtliche Quadrate auf Weiß waren als Doppelquadrate sichtbar, aber von ihrer Färbung war nichts wahrzunehmen. Dagegen zeigten die Quadrate eine sehr verschiedene Helligkeit, so dafs mehrere Nüancen von Grau sichtbar wurden.

Dieses Verhalten schien mir für die Lösung einer schwierigen Aufgabe benutzbar, nämlich zu bestimmen: *welche von zwei verschiedenartigen Farben, z. B. einem Roth und einem Blau die hellere ist?* Ich habe also die Helligkeitsgrade meiner Pigmente bestimmt bei einer Beleuchtung, bei welcher von Farbe noch nichts zu bemerken war. Ich habe die Bestimmungen bei $(\frac{1}{4} \text{ Ctm.})^2$, bei $(\frac{1}{2} \text{ Ctm.})^2$ und 1 Ctm.^2 Oeffnung des Diaphragmas in dem finstern Zimmer gemacht, ohne besondere Unterschiede für die Resultate dieser drei Beobachtungsreihen gefunden zu haben, und führe daher nur meine Notirungen bei 1 Ctm.^2 und für die Doppelquadrate von 10 Mm. Seite und Distanz auf schwarzem Grunde an:

- 1) Roth am dunkelsten.
- 2) Schmutzigroth.
- 3) Orange und Grün.
- 4) Blau und Grau.
- 5) Hellgrün und Hellblau.
- 6) Rosa und Gelb.
- 7) Weiss bei weitem am hellsten.

Natürlich wufste ich bei diesen Bestimmungen die Farbe der Quadrate vorher nicht.

Ich muß gestehen, daß mich diese Ordnung, in der sich meine Pigmente nach ihrer Helligkeit gruppiren, sehr überrascht hat, denn im gewöhnlichen Tageslichte würde ich mein Roth und Blau etwa für gleich hell halten, das Orange aber für viel heller als Blau und Grün, ich würde das Orange vielmehr dem Hellblau und Hellgrün an Helligkeit gleich schätzen. Nun ist freilich bei dieser Methode, die Helligkeiten von Pigmenten zu bestimmen, das nicht außer Acht zu lassen, daß die Helligkeit einer Farbe von der Menge farbiger Strahlen abhängig seyn muß, welche im Tageslichte enthalten sind; daß z. B., wenn viel Blau im Tageslichte enthalten ist, ein blaues Papier heller erscheinen muß, als ein rothes Papier. Man kann daher diese Bestimmungen nur gelten lassen, wenn man das Tageslicht als das *Normallicht* gelten läßt.

2) Vergleicht man diese Ordnung der Farben nach ihrer Helligkeit mit ihrer Reihenfolge hinsichtlich ihrer Erkennbarkeit bei beschränktem Lichtzutritt, so sieht man, daß die Helligkeit der Pigmente nicht die Ursache seyn kann, daß dieses oder jenes Farbenquadrat bei einer geringeren Lichtintensität farbig erscheint.

3) Die Farben der *untern Seite des Spectrums* werden bei viel *geringerer Lichtintensität erkannt*, als die der *oberen Seite*. Das darf indess vorläufig nur als *ungefähr* zutreffend angesehen werden, indem wir es ja bei unsern Pigmenten nicht mit reinen, den prismatischen vergleichbaren Farben zu thun haben, die Farben auch nicht ganz in derselben Reihenfolge, wie sie im prismatischen Spectrum liegen, erkennbar werden. Auffallend bleibt indess immerhin das so sehr frühe Farbigerscheinen von Orange, Roth, Gelb und Rosa. Denn diese Pigmente sind an Helligkeit außerordentlich verschieden von einander, was ebenso von den beiden Blau und den beiden Grün gilt; so daß man wohl eine spezifische Erkennbarkeit der Farben annehmen muß. Mit der leichteren Erkennbarkeit der untern Spectralfarben dürfte vielleicht auch die schwierige Erkennbarkeit der übervioioletten Strahlen, die ja nach Helmholtz nur bei großer Lichtintensität und Ausschluss alles übrigen Lichtes sichtbar werden, zu parallelisiren seyn.

4) *Der umgebende Grund hat bei schwacher Beleuchtung Einfluss sowohl auf die Erkennbarkeit, als auf die Nüance der Farben.* Orange wurde bei etwas schwächerer Beleuchtung auf Schwarz als auf Weiß erkannt; Blau eher auf Weiß, als auf Schwarz, Grün eher auf Schwarz, als auf Weiß. Indess sind die Differenzen nicht so bedeutend, als ich nach den Erfahrungen beim indirecten Sehen erwartet hatte. Sehr auffallend ist dagegen der Einfluss des umgebenden Grundes auf die *Nüance der Farben* bei schwacher Beleuchtung. Zunächst ist über das Erscheinen der Farbe bei verminderter Beleuchtung überhaupt zu bemerken, daß der tiefe Ton, die Sättigung der Farbe, welche die matten Papiere meist in so hohem Grade haben, durchaus

verloren geht; die Farben sind äusserst matt und unbestimmt. Das brennende Roth erscheint zuerst tief dunkel, wie ein schönes, sehr dunkles Braun; Orange erscheint sehr dunkel und rein roth; Gelb nähert sich auf Schwarz einem nicht ganz reinen Weiss, auf Weiss sieht es schmutziggrau aus, mit einem röthlichgelben Stiche; Hellgrün ist zuerst von Hellblau nicht zu unterscheiden, sowohl auf Schwarz, als auf Weiss, und sieht auf jenem viel heller aus, als auf diesem; auf Schwarz sieht es auch bei einer viel gröfseren Oeffnung des Diaphragmas, als zu seiner ersten Erkennung nothwendig ist, immer viel mehr grau aus, als auf weissem Grunde. Dasselbe gilt von dem gesättigten Blau, welches in vollem Tageslichte sehr lebhaft und schön gefärbt ist: bei (5 Ctm.)² sieht es auf schwarzem Grunde überwiegend grau aus und hat nur einen blauen Stich, es erscheint noch viel grauer, als z. B. das blaugraue Packpapier; auf weissem Grunde ist es fast schwarz, hat aber aufser dem tiefblauen Schimmer eine eigenthümliche Weichheit. Ganz ähnlich, nur noch auffallender verhält sich Grün, welches im vollen Tageslichte etwa die Farbe der (dunkleren) Lupinenblätter hat, bei (7 Ctm.)² aber auf Schwarz schmutzig graublau, auf Weiss dagegen völlig schwarz erscheint und erst bei (15 Ctm.)² ganz tief dunkelgrün aussieht.

5) Auch bei diesen Versuchen tritt eine ähnliche Erscheinung ein, wie beim indirecten Sehen, dafs nämlich bei den relativ geringsten Lichtintensitäten *die Färbung nur im ersten Momente des Anschauens sichtbar ist*, nach wenigen Sekunden aber ganz verschwindet.

6) Wie zu erwarten war, ist auch bei geschwächter Beleuchtung sehr wesentlich für die Erkennbarkeit der Farben *die Gröfse der farbigen Fläche*. Das geht aus den oben gemachten Angaben über die Erkennbarkeit der Farben an den 60 Mm. breiten Quadraten im Vergleich mit den Quadraten von 10 Mm. Seite sogleich hervor. Ob in dieser Hinsicht ein bestimmtes Verhältnifs zwischen Farbmenge und Lichtintensität nachweisbar ist, werden weitere Versuche zu lehren haben.

C) Die Wahrnehmbarkeit einer Farbe ist abhängig von ihrer Verdünnung mit Weiss.

Scherffer hat schon bemerkt (Abhandlung von den zufälligen Farben), daß von den Pigmenten, die wir benutzen können, nicht nur die eine Art von Lichtstrahlen, nach denen wir sie benennen, zurückgeworfen wird, sondern außerdem eine beträchtliche Menge weissen Lichtes, dessen Quantität mit der Intensität der Beleuchtung zu wechseln scheint. Wir werden also den Einfluß zu untersuchen haben, den eine Beimengung weissen Lichtes auf die Erkennbarkeit der Farben ausübt. Masson hat eine sehr zweckmäßige Methode angegeben, alle möglichen Nüancen von Grau mittelst einer schnell rotirenden weissen Scheibe, auf welcher ein Sector von x Graden schwarz ist, hervorzu- bringen. Fig. 11, Taf. I zeigt eine solche Masson'sche Scheibe. α ist ein Stück eines Sectors, der bei schneller Rotation der Scheibe vermöge der Nachdauer des Gesichtseindrucks einen gleichmäßigen Kranz bildet und zwar auf weissem Grunde. Giebt man den Sektoren verschiedene Grade, z. B. 60° , 30° usw., so bekommt man $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{12}$ usw. Grau. (Masson, *Etudes de photométrie électrique* in *Annales de Chimie et de Physique* 3. ser. T. XIV 1845 p. 1829.)

Nimmt man statt des schwarzen einen farbigen Sector, so bekommt man eine sehr einfache Methode, alle möglichen Farbennüancen so zu bilden, daß der Antheil des Weiss und der Farbe durch Zahlen ausgedrückt werden kann. Ich habe Sektoren mit Schwarz, Roth, Orange, Gelb, Grün und Blau, jede Farbe in Sektoren von 60° , 30° , 15° , 10° , 5° , 3° , 2° , 1° , also Nüancen von $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{24}$ usw. Farbe. (Die Beschreibung des Apparates und die Anstellung der Versuche siehe Abhandlungen der Schles. Ges. p. 83 u. f.)

Zuerst wurden Beobachtungen im diffusen Tageslichte in der Weise angestellt, daß ich die farbigen Sektoren kannte und zusah, wie sich die Farbennüancen bei schneller Rotation der Scheibe darstellten. Ich lasse die einzelnen Angaben folgen:

Roth 60° und 30° nur heller, 15° neigt stark zu Grau,

10° grau mit röthlichem Teint, 5° noch mehr grau, 3° grau mit röthlichem Stich, oder ganz grau, 2° unbestimmt, 1° = 0. *Orange* 60° bis 3° immer farbig, aber überwiegend roth 2° und 1° wie oben. *Gelb* ebenso wie Orange. *Grün* 60° und 30° reines Grün, 15° etwas grau, 10° überwiegend grau, 5° grau mit ziemlich gelber Nüance, 3° graugelblich, 2° = ?, 1° = 0. *Blau* 60° schön violett, 30° ebenso, aber etwas grau, 15° noch mehr grau, mit röthlich bläulicher Nüance, 10° grau mit violettem Schimmer, 5° grau mit röthlichem Scheine, 3° sehr mattes Grau mit zweifelhaftem Anflug, 2° = ?, 1° = 0. *Schwarz* 60° grau mit röthlich gelbem Anflug, 30° grau mit grünlich gelbem Anflug, 15° grau mit röthlichem Anflug, 10° ebenso, 5° grau mit bläulichem Anflug, 3° mattes Grau, 2° = ?, 1° = 0.

Es ergibt sich daraus:

1) *Dafs manche Farben bei Verdünnung mit Weifs ihren specifischen Farbeindruck verändern, und bei starker Verdünnung vorwiegend grau erscheinen, mit Ausnahme von Orange und Gelb.* Zur Erklärung dieser auffallenden Erscheinung scheinen mir besonders zwei Momente Aufmerksamkeit zu verdienen und zwar: a) die *Contrastwirkung*; indem nämlich die Farbe wegen ihrer Verdünnung nur einen schwachen Eindruck macht, gleichwohl aber eine Verschiedenheit in der Helligkeit zwischen der Scheibe und dem Kranze auftritt, so fassen wir zunächst diesen *Helligkeitsunterschied* auf, welcher einem dunkleren Weifs, d. h. einem Grau und einem helleren Weifs entspricht. Ob daneben noch eine Färbung sichtbar ist, wird von der Eigenthümlichkeit der Farbe abhängig seyn. Nun sehen wir aber gerade diejenigen Farben, welche unter dem kleinsten Gesichtswinkel und bei der schwächsten Beleuchtung noch farbig erscheinen, auch hier bei der stärksten Verdünnung ihren Farbeindruck conserviren, nämlich Orange und Gelb, während Roth, Blau und Grün, welche dort einen gröfseren Gesichtswinkel erforderten, auch hier stark zu Grau hinneigen. b) Ein zweites Moment dürfte in dem *Auftreten von Nachbildern* zu suchen seyn. Läßt man die Scheibe

langsam rotiren, so sieht man unmittelbar an den farbigen Sector sich anschliessend ein complementäres Nachbild auftreten. Solche Nachbilder können eine sehr bedeutende Intensität gewinnen, worüber ich genauere Untersuchungen später mittheilen werde; denn wenn ich auf einer schwarzen Scheibe einen rothen Sector von etwa 90° anbringe und die Scheibe mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 Umdrehungen in der Sekunde rotiren lasse, so bekommt die Scheibe nicht einen rothen, sondern einen grünen Ueberzug; ebenso bekommt eine Scheibe von 90° Blau und 270° Weiss unter ähnlichen Umständen einen orangefarbenen Teint. Machen wir nun die Annahme, dass sich auch bei einer schnelleren Rotation das Nachbild geltend mache, so würde das Roth in unsern Versuchen mit der Masson'schen Scheibe durch gleichzeitiges Auftreten des bläulichgrünen Nachbildes jedenfalls an Intensität der Farbe verlieren, sich also dem Grau nähern. Das verschiedene Verhalten der einzelnen Farben würde mit dieser Annahme sehr gut stimmen, da Orange und Gelb nur sehr schwache, Blau und Roth dagegen sehr lebhaftes Nachbilder, wenigstens in meinen Augen, produciren.

2) Die Farben können in eben so starker Verdünnung mit Weiss noch von dem weissen Grunde unterschieden werden, wie Schwarz, nämlich bei 3° Sector, d. h. einer Verdünnung von $\frac{1}{17}$. Das ist ganz besonders auffallend bei dem sehr hellen Gelb, welches bedeutend weniger gegen den weissen Grund der Scheibe contrastirt, als Schwarz, und gleichwohl in derselben Verdünnung mit Weiss noch erkannt werden kann. Es kann also nicht blofs die Wirkung der geringeren Helligkeit oder des Contrastes einer Farbe seyn, wodurch sie sich in der stärksten Verdünnung von Weiss unterscheidet, sondern die spezifische Wirkung, die sie, abgesehen von ihrer Helligkeit, als Farbe besitzt.

Zur Feststellung dieser Thatsachen wurden die Versuche mit den Masson'schen Scheiben so angestellt; 1) dass ich nicht wufste, welcher Sector gedreht wurde, 2) dass eine Scheibe ohne Sector zuweilen angesteckt wurde, um mich

irre zu leiten, 3) daß jede Scheibe mit einem Sector 10 Mal, die weiße Scheibe jedoch noch öfter angesteckt wurde, so daß ich also nach Fechner's *Methode der richtigen und falschen Fälle* (Psychophysik I, p. 93 u. f.) die Resultate controliren konnte. Die näheren Angaben habe ich Abhandlungen der Schles. Ges. p. 88 gemacht.

Mit Bezug auf die Psychophysik ist also in diesen Versuchen die *Unterschiedsschwelle* für die Verdünnung des Schwarz und der Farben mit Weiß festgestellt worden; mit Unterschiedsschwelle bezeichnet aber Fechner „den Punkt, von wo an der Empfindungsunterschied merklich zu werden beginnt“ (Psychoph. I, p. 242 u. f.), indem der Reizunterschied eine bestimmte endliche Größe erreicht haben muß, um einen Empfindungsunterschied auszulösen. Bei einem Reizunterschiede von $\frac{1}{360}$ ist der Empfindungsunterschied = 0, d. h. bei 1° Sector der Masson'schen Scheiben wird kein Krauz wahrgenommen; erst zwischen 2° und 3° Sector wird der Empfindungsunterschied ausgelöst, also bei einem Reizunterschiede von $\frac{1}{180}$ bis $\frac{1}{120}$.

3) Aus diesen Untersuchungen geht ebenso hervor, wie stark ein weißer Grund verunreinigt oder ungleichmäßig seyn kann, ohne daß wir im Stande sind, es wahrzunehmen.

D) *Combination der Schwellenwerthe für die Farbenempfindung.*

Die Bestimmung des „Schwellenwerthes für die Farbenempfindung“ (Fechner) läßt sich nur mit Berücksichtigung aller der erwähnten Momente machen, nämlich: 1) der Ausdehnung der farbigen Fläche, 2) der Intensität der Beleuchtung, 3) der Umgebung, 4) der Intensität der Farbe oder der Verdünnung der Farbe mit Weiß (oder Schwarz), 5) des Retinatheiles, auf welchen das Bild fällt.

Zu der im Vorhergehenden gegebenen Bestimmung werden also noch neue Untersuchungen kommen müssen, über den Einfluß, den diese erwähnten Momente mit einander combinirt auf die Farbenwahrnehmung ausüben. Zum Beispiel wird die Frage seyn: welches ist die Gränze der

Farbenwahrnehmung bei abnehmender Beleuchtung und kleiner werdendem Gesichtswinkel? oder: wo hört die Farbenwahrnehmung auf bei gleichzeitig abnehmendem Gesichtswinkel und zunehmender Verdünnung mit Weiss? usw.

Wir wollen hier einen besondern Fall betrachten, der noch ein anderweitiges psychophysisches Interesse hat und über den ich eine Reihe von Untersuchungen angestellt habe, nämlich *den Fall, wo bei zunehmender Verdünnung mit Weiss eine Abnahme der Lichtintensität stattfindet.*

Das Grundexperiment, aus welchem Fechner sein psychophysisches Gesetz abgeleitet hat, besteht darin, daß man die Lichtintensität zweier benachbarter, eben noch unterscheidbarer Wolkennüancen durch Vorhalten grauer Gläser vor das Auge in gleichem Verhältnisse abschwächt. Fechner hat, wie erwähnt, gefunden, daß der Empfindungsunterschied sich nicht ändert, wenn der Lichtunterschied bei seiner Abschwächung (durch graue Gläser) ein ungeändertes Verhältniß zu seinen in gleichem Verhältniß abgeschwächten Componenten (den beiden Wolkennüancen) behalten hat, was sich auch so ausdrücken läßt: »der Empfindungsunterschied bleibt sich gleich, wenn das Verhältniß der Reize sich gleich bleibt.« Unser Fall wird eine Prüfung dieses Gesetzes involviren, denn der Kranz auf der Masson'schen Scheibe und der Grund derselben bilden die beiden Componenten oder die beiden Reize, welche bei Abnahme der Beleuchtung offenbar beide gleichmäfsig abgeschwächt werden; wir werden also die Frage zu stellen haben: Ist ein im diffusen Tageslichte wahrnehmbarer Kranz auf der Masson'schen Scheibe auch bei jeder Abnahme der Beleuchtung, wo man die Scheibe überhaupt noch sehen kann, sichtbar?

Zu den Versuchen wurde ein Apparat, an welchem fünf Scheiben gleichzeitig gedreht werden können, in dem finstern Zimmer dem Diaphragma gegenüber so aufgestellt, daß die Scheiben von demselben, und auch von meinen Augen etwa 1 Meter entfernt waren. Ich steckte die Scheiben im Finstern an, liefs dieselben von einem Gehülfen drehen und

stellte die kleinste Oeffnung des Diaphragmas für den Lichtzutritt ein. Ich beobachtete und notirte das Gesehene, stellte dann die nächst grössere Diaphragmaöffnung ein usw. bis zur größten Oeffnung von (20 Ctm.)². Nachher wurde bei stillstehender Scheibe Farbe und Bogengröße der Sektoren notirt, die Scheiben abgenommen und nach gänzlicher Verfinsterung des Zimmers neue unbekannte Scheiben angeschraubt usw. Angewendet wurden die Scheiben mit rothen, orange, gelben, grünen, blauen und schwarzen Sektoren von 60°, 30°, 15°, 10°, 5°, 3°.

Zu beobachten war aber: 1) ob ein Kranz auf den Scheiben überhaupt *sichtbar* wäre und 2) ob derselbe *farbig* erschiene. Die erstere Beobachtung giebt im Sinne der Psychophysik über die Unterschiedsempfindlichkeit, die zweite über den Schwellenwerth für die Farbenempfindung Aufschluss. Ausserdem prüfen wir hierbei die Unterschiedsempfindlichkeit bei in gleichem Grade abgeschwächten Componenten (Kranz und Grund) der Scheiben, prüfen also das psychophysische Gesetz Fechner's. Folgendes sind die Resultate einer Beobachtungsreihe:

		Bei Diaphragmaöffnung	
		von:	
Sektoren		sichtbar	farbig
Roth	60°	$\frac{1}{2}$	2
	30°	$\frac{1}{2}$	3
	15°	$\frac{1}{2}$	3
	10°	2	10
	5°	4	—
	3°	10	—
Orange	60°	$\frac{1}{2}$	1
	30°	$\frac{1}{2}$	2
	15°	$\frac{1}{2}$	2
	10°	1	3
	5°	3	10?
	3°	—	20?

Bei Diaphragmaöffnung

Sectoren		von:	
		sichtbar	farbig
Gelb	60°	$\frac{1}{2}$	2
	30°	$\frac{1}{2}$	3
	15°	2	4
	10°	20	20
	5°	20?	20?
	3°	—	—
Grün	60°	$\frac{1}{2}$	(3) 10
	30°	$\frac{1}{2}$	(4) 10
	15°	$\frac{1}{2}$	(5) 20
	10°	$\frac{1}{2}$	(5) 20
	5°	4?	—
	3°	—	—
Blau	60°	$\frac{1}{2}$	2
	30°	$\frac{1}{2}$	2
	15°	$\frac{1}{2}$?	3
	10°	1	20
	5°	3	20
	3°	10?	—
Schwarz	60°	$\frac{1}{2}$	
	30°	$\frac{1}{2}$	
	15°	$\frac{1}{2}$	
	10°	$\frac{1}{2}$	
	5°	2	
	3°	—	

Zu dieser Tabelle ist noch zu bemerken, dass die Zahlen mit Fragezeichen bedeuten, dass ich in meinem Urtheile schwankend war, ferner für die unter Grün eingeklammerten Zahlen, dass bei der Oeffnung des Diaphragmas, welche diese Zahlen anzeigen, der Kranz der Scheiben zwar farbig, aber nur unbestimmt bläulich grünlich erschien, und erst bei der daneben stehenden nicht eingeklammerten Zahl als grün erkannt wurde.

Folgendes sind die Resultate:

1) Für Fechner's psychophysisches Gesetz ergibt sich aus den Beobachtungen, daß Helligkeitsunterschiede geringen Grades nicht mehr empfunden werden können, wenn die Componenten in gleichem aber hohen Grade abgeschwächt werden oder, *daß die untere Gränze des Fechner'schen Gesetzes in diesen Versuchen überschritten worden ist.* (cf. Fechner, Psychophysisches Gesetz p. 463). Kränze nämlich, welche bei Tagesbeleuchtung oder auch bei hellerer Beleuchtung mittelst einer großen Diaphragmaöffnung erkannt wurden, konnten bei Verkleinerung der Oeffnung überhaupt nicht mehr wahrgenommen werden. Daß indeß dadurch das Gesetz nicht umgestoßen wird, sondern daß diese untere Gränze höchst wahrscheinlich durch Auftreten subjectiven Lichtes gesetzt wird, wie Fechner bereits angegeben hat, habe ich Abhandlungen der Schles. Ges. 1861, I. §. 31 ausführlich besprochen.

2. Auch bei diesen Versuchen zeigen sich in Uebereinstimmung mit den Befunden bei verbreitetem Tageslichte *keine bedeutenden Unterschiede in der Wahrnehmlichkeit zwischen den Kränzen der farbigen und denen der schwarzen Sektoren.* Sichtbar waren die Kränze fast durchgängig bei denselben Größen der Sektoren und der Diaphragmaöffnung für farbige und schwarze Sektoren.

3) Die Sichtbarkeit des Kranzes ist fast immer bei kleinerer Diaphragmaöffnung, also bei geringerer Helligkeit eingetreten, als die Wahrnehmbarkeit der Farbe. Nur bei den größten Sektoren von Orange (60°, 30") und von Blau (60°) sind beide gleichzeitig und zwar bei der geringsten Helligkeit wahrgenommen worden.

4) Je mehr eine Farbe mit Weiß gemischt ist, eine um so größere Lichtmenge ist erforderlich, damit sie als Farbe empfunden werde, denn je kleiner die Sektoren sind, um so größer muß die Oeffnung im Diaphragma seyn, wenn Farben empfunden werden sollen.

5) Die verschiedenen Farben zeigen gegen einander keine bedeutenden Differenzen im Farbigerscheinen, lassen

sich indess in dieser Beziehung etwa so gruppiren: 1) Orange, 2) Blau und Gelb, 3) Roth, 4) Grün.

(Fortsetzung folgt.)

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 7, Taf. I. Apparat zur Untersuchung des Raumsinnes im Auge beim Ueberspringen des elektrischen Funkens.

A der mit Ziffern und Buchstaben bedruckte Bogen, welcher um die Walzen *aaaa* gerollt werden kann, welche in senkrechter Richtung 2 Fufs von einander entfernt sind. Der Bogen ist 2 Fufs breit und 5 Fufs lang. Die Walzen liegen in dem senkrechten Rahmen *bb*, *bb*, welcher auf dem Brette *ccc* dem hinter der Röhre *C* befindlichen Auge beliebig genähert werden kann. *B* bedeutet die sich selbst entladende Riefs'sche Flasche. *C* ist eine geschwärzte Röhre zur Ablendung des Funkens von dem Auge.

Fig. 8, Taf. I. Apparat zur Untersuchung des indirecten Sehens.

In das Brett *g* ist die Stahlstange *h* eingelassen, an welcher ein Stift *C* angebracht ist, welcher dem Bogen *ab* als Drehungsaxe dient. Desgleichen ist in das Brett *g* die Stange *m* eingelassen, um welche der Blechschirm *B* mit dem Ausschnitte *d* gedreht werden kann. Bei den Beobachtungen befindet sich das beobachtende Auge senkrecht über der Stange *m* in *A*, während die Nase in dem Ausschnitte *d* Platz findet und das zweite Auge durch den Schirm *B* verdeckt ist. *C* ist zugleich der fixirte Punkt, während das indirect zu sehende Object *O* an dem Bogen von *C* nach *a* oder *b* verschoben werden kann.

Fig. 9, Taf. I ist bestimmt zu zeigen, wie sich das indirecte Sehen in verschiedenen Meridianen der Netzhaut verhält. Die punktirte Linie giebt an, in welcher Entfernung von dem Centrum der Netzhaut 2 Punkte, welche 14,5 Mm. von einander entfernt sind, noch als zwei unterschieden werden können; dasselbe bedeuten die Zahlen am Ende der Meridiane. Die Zeichnung ist auf den Raum be-

zogen, also für die Retina umzukehren. Sie ist nach Beobachtungen mit meinem rechten Auge entworfen.

Fig. 10, Taf. I. Apparat zur Untersuchung des indirecten Sehens bei veränderter Entfernung des Objects vom Auge.

Ein Stativ *a* kann auf einem Brette, welches auf dem Fußboden liegt, nach einem zweiten Stativ *h*, welches den zu fixirenden Punkt *F* trägt, geschoben werden. In das Stativ *a* ist eine Stahlstange eingeschraubt, die mit den 3 Charnieren *b*, 1, 2, 3, artikulirt, so daß der über den Charnieren befindliche Theil des Apparates gehoben, gesenkt und horizontal, vertikal oder schief durch Schrauben festgestellt werden kann, ohne daß sich der Drehpunkt der Hülse *c* aus dem Lothe des Stativs entfernt. Der Theil über den Charnieren geht in eine runde Axe *d* aus, um welche die Hülse *c* gedreht werden kann; dieselbe läßt sich mittelst einer darüber befindlichen Flügelmutter festschrauben. Von der Hülse *c* geht eine Stahlstange *cf* von gehöriger Härte und Festigkeit aus, welche etwas über 1 Meter lang und mit der Hülse unbeweglich verbunden ist; sie ist in Decimeter getheilt. An dem Zapfen über den Charnieren ist ein in Grade getheilter Halbkreis *Tp* befestigt, dessen Centrum in der vertikalen Axe des Zapfens *d* liegt. Von *cf* reicht eine feine Stahlnadel als Index *i* auf *Tp*. An der Stange *cf* kann ferner eine Hülse, an der das Object *O* befestigt ist, in jeder Entfernung von *c* festgeschraubt werden. Der zu fixirende Punkt *F* ist am Ende einer 1 Meter langen Stange *Fg* angebracht, welche auf dem Stativ *h* befestigt ist.

Fig. 11, Taf. I. Eine Masson'sche Scheibe. *a* der Sector, *c* ein mit einem Lochstahl ausgeschlagenes viereckiges Loch im Centrum, in welches ein vierkantiges Messingstück gesteckt wird, um die Scheibe an dem Drehapparate zu befestigen.

Breslau den 21. October 1861.

VI. Ueber einen neuen Apparat zur Darstellung von Schwingungscurven; von Dr. F. Melde.

Unter Schwingungscurven verstehe ich überhaupt solche Curven, in denen sich ein schwingender Punkt bewegt, sey es nun, dafs dieser auf einer schwingenden Saite oder einem andern schwingenden Körper liegt. Der erste, der über solche Curven Beobachtungen anstellte, und einige Zeichnungen davon entwarf, war bekanntlich Thomas Young, indem er eine der tiefern, mit Silberdraht überspannenen, Saiten eines Piano-Forte's in einem dunklen Zimmer ausspannte, und auf die Punkte, deren Bahnen er beim Schwingen der Saite beobachten wollte, einen Sonnenstrahl lenkte. Späterhin hat Wheatstone auf einem andern Wege Schwingungscurven dargestellt, indem er nicht Saiten sondern schwingende Stäbchen benutzte und das *Kaleidophon* construirte, ein Instrument, das ja seit jener Zeit in fast alle physikalische Cabinete eingewandert ist:

Lange Zeit hat man diese Figuren mehr als eine angenehme Unterhaltung für das Auge betrachtet, als dafs man ihnen eine gröfsere physikalische, speciell akustische Bedeutung beilegte, wohl grösstentheils deswegen, weil weder Young noch Wheatstone noch irgend ein Anderer sey es durch genauere Experimente oder durch den Calcül in diese mannigfaltigen Erscheinungen das nöthige Licht zu bringen suchte. Erst im Jahre 1857 wurde dieser Zweig der Akustik wesentlich gefördert durch eine Arbeit Lissajous's, die zunächst durch einzelne Notizen in den *Compt. rend.* und später als Gesamtarbeit in den *Ann. de chim. et de phys. T. LI, p. 147* unter dem Titel: *Sur l'étude optique des mouvements vibratoires* veröffentlicht wurde. Eine geeignete Zusammenstellung zweier Stimmgabeln, unter Anwendung optischer Hilfsmittel, wie Planspiegelchen, Fernröhre, Mikroskope, setzte den genannten Physiker in den Stand, eine Gruppe von Schwingungscurven zu beobachten,

deren nähere Betrachtung zu folgenden wichtigen Resultaten führte:

- 1) Man ist aus dem Anblick einer Curve, *also mit Hülfe des Auges*, im Stande, das Intervall zu erkennen, welches zwei tönende Stimmgabeln mit einander bilden.
- 2) Dieser Anblick gestattet sogar, die, in einem bestimmten Momente, zwischen den beiden Stimmgabeln bestehende Phasendifferenz zu erkennen, ein Umstand, der sich mit Hülfe des Ohrs niemals erkennen läßt.
- 3) Die Dimensionen dieser Curven, nach zweien zu einander senkrechten Richtungen, lassen Schlüsse zu über die relative Intensität der beiden Stimmgabeln.
- 4) Die Schwingungscurven lassen sich speciell benutzen bei dem Studium der Saitenschwingungen und der sogenannten Schwebungen; sie zeigen ferner interessante stereoskopische Eigenschaften.
- 5) Diese Curven geben ein neues Mittel ab, um die *absolute* Zahl der Schwingungen einer Stimmgabel zu bestimmen mit einer Genauigkeit, welche von der, bei der Scheibler'schen Methode stattfindenden, nicht übertroffen wird, und außerdem im Vergleich zu dieser Methode, durch einfachere Operationen erreichbar ist.

Diese Umstände bewogen mich, den Schwingungscurven längere Zeit hindurch meine Aufmerksamkeit zu schenken, und zwar zunächst einen Apparat zu construiren, der die weitläufigen Operationen und optischen Hilfsmittel entbehrlich macht, welche die Methode Lissajous's bei der Darstellung der Schwingungscurven erfordert, der ferner in weit allgemeinerer Weise, als es die letztere Methode gestattet, zur Darstellung von Curven benutzt werden kann, indem man mit dessen Hülfe im Stande ist:

- 1) Die Schwingungscurven zu erzeugen, die als die resultirende Bewegung aus *zweien unter einem beliebigen Winkel gegen einander geneigten geradlinigen Vibrationsbewegungen* zu betrachten sind.
- 2) Die Schwingungscurven zu erzeugen durch das Zu-

sammenwirken zweier Vibrationsbewegungen, von denen die eine geradlinig, die andere elliptisch ist.

3) Schweißungscurven zu erzeugen durch das Zusammenwirken zweier elliptischer Vibrationsbewegungen.

Der zu diesem Zwecke construirte Apparat ist in Fig. 12, Taf. I in $\frac{1}{3}$ d. natürl. Gröfse dargestellt. *K* ist eine Klemme, aus Holz gefertigt, welche mittelst der einen Schraube an eine Tischecke oder ein Fensterbrett eingeschraubt werden kann, und deren andere Schraube den Zweck hat, zunächst auf ein prismatisches Holzstückchen zu wirken, und dann zwischen diesem und dem übrigen Theile der Klemme Stahllamellen oder auch cylindrische Stahlstäbe fest einzuspannen. Das prismatische Holzstückchen ist in der Figur mit seiner oberen Gränzfläche sichtbar, zugleich mit dem oberen Ende einer, zum Zwecke der Einspannung cylindrischer Stäbe, angebrachten Falze; seine Führung erhält das prismatische Stück durch zwei, in ihm befestigte und in zweien, im vordern Klemmtheil angebrachten Löchern, sich bewegende Stifte. Ebenso wie die Klemme *K*, hat auch die, aus Messing angefertigte, Klemme *k* einen doppelten Zweck zu erfüllen. Mittelst des einen Schraubchens läßt sie sich an dem obern Ende der Lamelle *L* oder auch des cylindrischen Stabes *S* unter jedem beliebigen Winkel im Azimut feststellen; das andere Schraubchen dient dazu, um das eine aufgeschlitzte Ende der Klemme *k* wieder mehr oder weniger zusammenzuschrauben und auf diese Weise das Stahllamellchen *l* oder das cylindrische Stahlstäbchen *s* festzuklemmen. Die obersten Enden der beiden Lamellen *L* und *l* sowie der cylindrischen Stäbe *S* und *s* sind in ganz gleicher Weise wie bei dem Wheatstone'schen Kaleidophon mit vergoldeten Messingknöpfchen versehen, um die Bewegungen, die sie machen, durch den Reflex des Lichtes, gehörig hervorzuheben.

Nach dieser Erläuterung gehe ich über zur Auseinandersetzung der Erscheinungen, die sich mit Hülfe des Apparates darstellen lassen. Nehmen wir an, die Lamelle *L* sey in vertikaler Lage in der Klemme *K* befestigt, und auf dem

oben Ende von L die Klemme k und hierin das Lamellchen l festgeschraubt, so sind es zunächst zwei Ebenen, welche ihrer Lage nach aufgefaßt werden müssen, nämlich eine Ebene, die man sich durch die Verticalaxe und senkrecht zur breiten Fläche von L , und eine Ebene, die man sich durch die Verticalaxe und senkrecht zur breiten Fläche von l gelegt denken kann; die erstere werde einfach mit E , die letztere mit e bezeichnet. Wird nun L und hiermit die Verbindung von k und l , unter Vermeidung aller Torsion, aus der Ruhelage herausgebracht und sich dann selbst überlassen, so wird das ganze System $L + k + l$ in eine schwingende Bewegung gerathen, wobei jeder Punkt dieses Systems eine ebene Curve beschreibt, deren Ebene parallel liegt der Ebene E , wobei speciell der obere Endpunkt von l sich in einer Curve bewegt, deren Projection auf eine Horizontalebene sich als gerade Linie darstellt, die wir mit pq bezeichnen wollen. Wird nicht das ganze System sondern nur das Lamellchen l unter Vermeidung jeder Torsion aus der Ruhelage herausgebracht, so wird l Schwingungen ausführen, wobei jeder Punkt von l eine Curve beschreibt, deren Ebene parallel der Ebene e liegt, wobei speciell der obere Endpunkt von l sich in einer Curve bewegt, deren Projection auf eine Horizontalebene sich als gerade Linie darstellt, die wir mit p, q_1 bezeichnen wollen, die mit pq im Allgemeinen einen Winkel $= \varphi$ bildet, der offenbar gleich dem Neigungswinkel von E und e ist. Ist die Bewegung rasch genug und blickt das Auge in verticaler Richtung von oben nach unten auf das erleuchtete Endknöpfchen von l , so würde es im ersteren Falle eine leuchtende Gerade pq , im letzteren Falle eine leuchtende Gerade p, q_1 erblicken. Würden nun aber beide Bewegungen, nämlich eine Bewegung des ganzen Systems, sowie die partielle Bewegung von l gleichzeitig eingeleitet, so leuchtet ein, daß das Endknöpfchen von l eine Curve beschreibt, deren Projection auf die Horizontalebene sich betrachten läßt, als die resultirende Bewegung aus zweien unter einem Winkel φ gegen einander geneigten und gleichzeitig stattfindenden geradlinigen Vibrationsbewegungen pq

und p, q_1 . Unter der Voraussetzung, daß die Bewegungen rasch genug sind, würde also der von oben nach unten auf das Endknöpfchen von l sehende Beobachter eine ebene leuchtende Curve erblicken, deren Gestalt offenbar abhängt:

- 1) von einer Zahl n , welche angiebt, wie viel Schwingungen in einer gewissen Zeit auf $p q$ stattfinden würden;
- 2) von einer Zahl n_1 , welche angiebt, wie viel Schwingungen in derselben Zeit auf p, q_1 stattfinden;
- 3) von dem Winkel φ , den die Geraden $p q$ und p, q_1 mit einander bilden;
- 4) von einer ZeitgröÙe ϑ oder der Phasendifferenz, die in einem bestimmten Moment zwischen der Schwingung des ganzen Systems und der von der Lamelle l stattfindet, und
- 5) von der relativen Intensität der Schwingungen des ganzen Systems und der Lamelle l .

Was nun die absoluten Zahlen n und n_1 anlangt, oder auch das Verhältniß $n : n_1$, so leuchtet ein, daß man dieses ändern kann, einmal durch Verlängern und Verkürzen des hervorragenden Endes von L , das anderemal durch Verlängern oder Verkürzung von l , und drittens durch eine gemeinsame Aenderung der hervorragenden Enden von L und l .

In welcher Weise der Winkel φ zu ändern ist, ergibt sich unmittelbar aus der Erläuterung über die Einrichtung des Apparats, indem man z. B. für den Fall, daß $\varphi = 90^\circ$ seyn soll, nur die Klemme k so zu stellen braucht, daß die Ebene der beiden Lamellen L und l einen rechten Winkel mit einander bilden. Ebenso leicht begreift man, auf welche Weise man die Intensitäten der Schwingungen nach den beiden geradlinigen Vibrationsrichtungen zu ändern hat, indem ja jene abhängen von der ursprünglichen Ausbeugung, die den Lamellen L und l gegeben wird.

In wie weit die GröÙe ϑ geändert werden kann, soll nicht erläutert werden, und es bleiben in dieser Beziehung bei einer andern Gelegenheit eine Reihe von Bemerkungen zu machen übrig.

Die Lissajous'sche Methode gestattet diejenigen Curven darzustellen, welche entstehen, durch das Zusammenwirken zweier geradlinigen unter einem rechten Winkel gegen einander geneigten Vibrationsbewegungen. Um diese Curven mit Hülfe meines Apparates darzustellen, Sorge man zunächst dafür, daß der Winkel $\varphi = 90^\circ$ ist, nehme hierauf die, der Arbeit von Lissajous beigegebene, Curven-tafel zur Hand, und suche sich eine Curvenreihe aus, die man eben darstellen will, z. B. die zweite, bei welcher also das Verhältniß

$$n : n_1 = 1 : 2$$

ist. Nach einigem Probiren bei der Einstellung der Federn L und l wird man bald erkennen, wie beim Loslassen dieser Federn wirklich die Curven zum Vorschein kommen, die in der angenommenen Reihe gezeichnet sind. Alle Uebergänge, die den verschiedenen Werthen von ϑ angehören, stellen sich dem Auge dar; aber vielleicht noch in zu rascher Folge. Ist dieses der Fall, so verlängere oder verkürze man um ein wenig die Feder L und bald werden die Uebergänge so langsam stattfinden, daß man sie ohne Mühe mit dem Auge verfolgen kann. Hat man auch auf diese Weise die geeignetsten Längen von L und l gefunden, deren Schwingungen eine bestimmte Curvenreihe erzeugen, so wird man auch bald die richtigen Längen für die anderen Curvenreihen auffinden können. Sucht man diese Längen zu markiren, so kann man sofort auf Wunsch eines Zuschauers die eine oder die andere Curvenreihe darstellen.

Will man diese Figuren für einen andern Winkel φ darstellen, etwa für $\varphi = 45^\circ$, so drehe man nur die Klemme k , nachdem bei der Stellung $\varphi = 90^\circ$ die gewünschte Curvenreihe zum Vorschein gekommen, so lange herum, bis φ etwa $= 45^\circ$ geworden. Die Uebergänge werden nun jetzt wahrscheinlich schneller erfolgen, was jedoch leicht durch geringe Modification in der Länge von L beseitigt werden kann.

So verfährt man kurz, um die Schwingungscurven darzustellen, welche durch das Zusammenwirken zweier unter

einem beliebigen Winkel stattfindenden geradlinigen Vibrationsbewegungen erzeugt werden. Der Apparat soll aber auch zweitens solche Curven dem Auge vorführen, bei denen eine geradlinige und eine elliptische Bewegung zusammenwirken. Um dieses zu bewirken, hat man nur nöthig, statt der Verbindung von L und l eine andere zu machen, wobei entweder L durch S oder l durch s ersetzt wird. Bei einigem Nachdenken überzeugt man sich leicht, daß es nicht einerlei ist, ob beim Zusammenwirken zweier Bewegungen, von denen die eine geradlinig, die andere elliptisch ist, erstere schneller als die andere ist oder umgekehrt. Man überzeugt sich bald, daß diesen beiden Fällen zwei wesentlich von einander verschiedene Curvengattungen angehören. Nehmen wir zunächst an, es wäre die geradlinige Bewegung schneller als die elliptische. Um die hieher gehörigen Curven darzustellen vertausche man die Lamelle L mit dem cylindrischen Stabe S und setze eben auf S die Verbindung $k + l$. Vermöge der Art und Weise wie cylindrische Stäbe schwingen ist es nunmehr ein Leichtes das ganze System in elliptische Schwingungen zu versetzen; wird hierbei für sich die Lamelle l zum Schwingen gebracht, so leuchtet ein, wie auf diese Weise die gewünschten Curven erhalten werden können.

Will man die Curvenreihen darstellen, wobei die elliptische Bewegung schneller als die geradlinige, so setze man nur auf die Lamelle L die Verbindung $k + s$, da jetzt das ganze System die geradlinige Componente, das Stäbchen s dagegen die elliptische liefert.

Auch noch eine dritte Curvengattung läßt sich mit Hülfe meines Apparates dem Auge vorführen, nämlich die, wo zwei elliptische Bewegungen zusammenwirken. Um diese Curven darzustellen, combinire man nur S mit s , indem man zunächst S in die Klemme K spannt und oben auf S die Verbindung $k + s$ setzt.

Es ist nichts weniger als überflüssig, zu den Fällen, wo elliptische Bewegungen auftreten, d. h. wo man cylindrische Stäbe benutzt, hier schon einige Bemerkungen zu machen.

Läßt man einen an einem Ende eingeklemmten cylindrischen Stab schwingen, so ist es leicht ihn in elliptische Schwingungen zu versetzen; aber die etwa im Anfang der Bewegung stattfindende elliptische Bewegung verhält sich nicht constant, sondern geht allmählich in eine ebene Schwingung über und hierauf wieder in eine elliptische, eine Erscheinung, die man ja mit Hülfe des Wheatstone'schen Kaleidophons zu jeder Zeit wahrnehmen kann. Diese Bemerkung reicht hin, um sich zu überzeugen, daß man in den Fällen, wo bei meinem Apparat cylindrische Stäbe benutzt werden, es mit complicirteren Erscheinungen zu thun hat, als es auf den ersten Blick scheint. Nämlich die Curven ändern ihre Gestalt nicht nur aus allen den Gründen, die bei den, aus geradlinigen Bewegungen resultirenden, Curven stattfinden, sondern auch noch deshalb, weil die eine Componente, nämlich die elliptische, sich in gesetzmäßiger Weise nach und nach in andere Bewegungen umsetzt. Ein specieller Fall diene noch zur nähern Erläuterung. Gesetzt, wir hätten die Verbindung $S + k + s$ gemacht, und es gerade getroffen, daß die Anzahl der Schwingungen von $S + k + s$ zu denen von s sich verhielten wie $1:2$, so wird in einem bestimmten Momente eine elliptische Bewegung des ganzen Systems mit einer elliptischen von s zusammentreffen können; in diesem Momente erhält man also eine Curve, die ihre Entstehungsweise zweien elliptischen Bewegungen verdankt; in einem andern Momente tritt vielleicht der Fall ein, wo $S + k + s$ ebene Schwingungen, s dagegen elliptische ausführt, und es leuchtet ein, daß man jetzt eine Curve erblickt, die erzeugt wird, durch eine geradlinige und eine elliptische Bewegung; in einem dritten Momente ist der Fall denkbar, daß eine geradlinige Bewegung des ganzen Systems mit einer geradlinigen von s zusammentrifft, wobei also eine Curve erzeugt wird, die der ersten Curvengattung angehört.

Die hier von mir gemachten Mittheilungen sollen den Zweck haben, die Einrichtung meines Apparats und die hauptsächlichsten Erscheinungen, die man mit dessen Hülfe darstellen kann,

vorläufig zur öffentlichen Kenntniss zu bringen. Eine ausführlichere Arbeit über die Schwingungscurven, in Verbindung mit einer Reihe von Curventafeln, wird demnächst der Oeffentlichkeit von mir übergeben werden. Wheatstone gab seinem Apparate den Namen Kaleidophon; die Aehnlichkeit, welche der von mir construirte Apparat mit jenem gemein hat, bewog mich mit Rücksicht auf die bei weitem gröfsere Mannichfaltigkeit der Erscheinungen, die sich mit meinem Apparate darstellen lassen, sowie mit Rücksicht auf die Leichtigkeit, mit der man willkürlich gewünschte Erscheinungen herbeiführen kann, dem Instrumente den Namen »*Universalkaleidophon*« beizulegen. Noch will ich bemerken, dafs man diesen, wie den bereits früher in diesen Annalen beschriebenen Apparat, zur Darstellung der stehenden Saitenschwingungen, von dem hiesigen Mechanikus Schubert ausgeführt, erhalten kann, dessen präcises Arbeiten ja wohl manchem Physiker bekannt ist.

Marburg den 2. December 1861.

VII. *Beiträge zum Studium der Salpeterbildungen;* *von Dr. F. Goppelsröder,*

Privatdocent a. d. Univ. zu Basel u. öffentl. Chemiker daselbst.

I.

In unseren gemässigten Zonen sind zwar keine so mächtigen Lager von salpetersauren Salzen wie in den heissen Climates vorhanden, aber dennoch findet unter unseren Augen fortwährend eine Salpeterbildung statt, und wir können beobachten wie stickstoffhaltige Materien, thierische Abfälle und Flüssigkeiten, Excremente, Urin, Blut, Pflanzentheile etc. etc., in Berührung mit starken Basen wie Kali, Kalk etc. vermöge der Gegenwart und Thätigkeit des atmosphärischen Sauerstoffes während ihres Zerfallens durch den

Fäulnißprozeß jene Basen in salpetersaure Salze umwandeln. Neben den Salpeterplantagen, jenen eigentlichen Salpeterfabriken, liefert die Erde unter dem Boden der Ställe, um Miststätten herum, und wo immer Ueberreste organischer Materien der Fäulniß preisgegeben seyn mögen, ein brauchbares Material zur Salpetergewinnung.

Am besten bekannt und von Jedem beobachtet sind aber diejenigen Nitratbildungen, welche jene Erscheinung verursachen, welche man mit dem Namen Mauerfraß bezeichnet hat und welche sich durch schneeartige weiße krystallinische Ausblühungen an den Mauern der Wohnhäuser, vor Allem aber an den Mauern der Ställe kundgiebt.

So klein auch diese Mengen salpetersaurer Salze im Vergleich zu jenen mächtigen Lagern in den heißen Zonen sind, so interessant ist doch das Studium dieser Producte und der verschiedenen Verhältnisse ihres Vorkommens. Erkennen wir in der Bildung der Nitate an den Mauern unserer Häuser und Viehställe auch nur ein Schattenbild jenes großartigen Processes, welcher die Chilialpeterlager zu erzeugen vermochte, und in den Salpeterplantagen stattfindet, so dürfen wir doch die Bildung der Nitate hier wie dort derselben Ursache zuschreiben und dürfte ein Weiterdringen in das Studium des so verwickelten Processes der Nitratbildungen hier wie dort zu besserem Verständnisse der Gesamterscheinung führen.

Es wurde mir in den verflossenen Monaten Gelegenheit geboten den Salpeterfraß an Stallmauern zu beobachten und ich ergriff deshalb diese Gelegenheit eine Reihe von Versuchen mit, dem Mauerfraß anheimgefallenen, Mauerkalken vorzunehmen. Auf einen Punkt namentlich richtete ich vorläufig mein Augenmerk. Wie bekannt hat Schönbein die höchst interessante Beobachtung gemacht, daß das metallische Kupfer, das Kupferoxydul und das Kupferoxyd, ferner das kohlensaure Kupferoxyd das Vermögen besitzen, den neutralen Sauerstoff schon bei gewöhnlicher Temperatur zur Oxydation der Elemente des Ammoniak zu bestimmen und dadurch die Bildung von salpetriger Säure,

das heist eines Nitritkupferdoppelsalzes zu veranlassen. Es zeigte sich hier die höchst auffallende Erscheinung, daß der Stickstoff des Ammoniaks nur bis zu salpetriger Säure und nicht bis zu Salpetersäure oxydirt wird. In anderen Fällen geht die Bildung eines Nitrites der eines Nitrates voraus, wie Schönbein auch deutlich durch einige Versuche bewiesen hat. Wenn zum Beispiel in Luft, deren Sauerstoff durch erhitztes Platin oder auf andere Weise ozonisiert worden ist, Ammoniak verdunstet, so verwandelt sich dieses zunächst in salpetrigsaures und nicht sogleich in salpetersaures Ammoniak.

Schönbein hat in Folge seiner Beobachtungen bereits darauf aufmerksam gemacht, daß unter gegebenen Umständen der Bildung eines Nitrates diejenige eines Nitrites vorausgehe und daß sicherlich auch die näheren Vorgänge des Nitrificationsprozesses noch nicht genau erforscht seyen.

Durch Schönbein's Versuche aufmerksam gemacht schöpfte ich die Muthmaßung, daß bei dem Prozesse der Nitrification salpetrige Säure gebildet werde, und ich hoffe in diesem Prozesse eine weitere Stütze für die von Schönbein ausgesprochene Ansicht: »es gehe die Nitratbildung durch die Nitritbildung hindurch« zu finden.

Ich untersuchte bis dahin 24 verschiedene Mauerkalke, sowohl von der inneren als von der äußeren Seite der Mauer verschiedener Kuh- und Pferdeställe, und prüfte dieselben alle auf Nitrite und Nitrate. Die Methode, welche ich zur Prüfung auf Nitrite anwandte, ist die von Schönbein bekannt gemachte, welche darauf beruht, daß die Lösungen der Nitrite mit Iodkaliumkleister und Schwefelsäure versetzt die Entstehung der Iodstärke verursachen. Zur Prüfung auf Nitrate benutzte ich die ebenfalls bekannte Methode Schönbein's, welche darauf beruht, daß Zink und namentlich amalgamirtes Zink (das auf 100 Gewichtstheile Zink 50 Gewichtstheile Quecksilber enthält) die Nitrate zu Nitriten reducirt und somit die Gegenwart der Nitrate in einer Substanz durch die bekannte Reaction auf die Nitrite, deren Derivate, nachgewiesen werden kann.

Die verschiedenen Mauerkalke wurden mit Wasser ausgekocht und das wässrigere Decoct in zwei gleiche Theile getheilt. Den einen Theil stellte ich bei Seite, den anderen Theil aber behandelte ich mit Zink. Um die in Lösung sich befindenden Nitrate in Nitrite umzuwandeln, kann man entweder die Lösung während längerer Zeit mit amalgamirtem Zink zusammenstehen lassen, wobei jedoch, wenn eine genaue quantitative Reduction der Nitrate zu Nitriten bewerkstelliget werden soll, mindestens eine Zeit von 8 Stunden von Nöthen ist, während die Reduction in Zeit von 5 Minuten oder noch weniger von Statten geht, wenn man die Nitratlösungen mit Zink bei Kochhitze behandelt. Beide Theile, sowohl der mit Zink reducirte als auch der nicht reducirte, wurden dann mit einer gleich grossen genau abgemessenen Menge Iodkaliumkleisterlösung und verdünnter Schwefelsäure versetzt, und zwar wurde so viel von beiden Reagentien zugesetzt, dass von beiden ein Ueberschuss vorhanden war. Entstand dann in beiden Hälften eine gleich schwache oder starke Färbung, so durfte angenommen werden, dass nur Nitrite in der ursprünglichen Lösung und folglich in dem Mauerkalke vorhanden gewesen seyen. War die blaue Färbung in den beiden Flüssigkeiten so stark, dass dem Auge eine relative Beurtheilung der Stärke beider Farbenntüancen unmöglich war, so wurde die nicht mit Zink behandelte Lösung auf das Doppelte oder noch mehr verdünnt.

Vor Beginn der Versuche wurden alle Reagentien, das Wasser sowohl als auch der Iodkaliumkleister und die Schwefelsäure, sorgfältig auf ihre Reinheit geprüft. Das Zink wurde vor jedem Reductionsprozesse sorgfältig gereinigt. In Betreff der Schwefelsäure bemerke ich, dass nicht jede Schwefelsäure zu den vorliegenden Versuchen geeignet ist; so habe ich aus einer hiesigen Materialhandlung eine durch ozonische Substanzen ganz schwach gelblich gefärbte Schwefelsäure bezogen, welche für sich allein schon nach einigen Minuten eine schwache Bläuung mit Iodkaliumkleister erkennen lässt. Steht einem keine chemisch reine ge-

wöhnliche Schwefelsäure zu Gebote, so thut man am besten die sogenannte rauchende Schwefelsäure, natürlich auch nur mit vielem Wasser verdünnt, anzuwenden. Mit verdünnter rauchender Schwefelsäure konnte ich bis dahin noch niemals mit Iodkaliumkleister eine Bläuung erhalten.

Der erste Mauerkalk, welcher mir unter die Hände kam, zeichnete sich durch die merkwürdige Eigenschaft aus, daß derselbe eine große Menge von Nitriten und keine, oder, da die angewandte Prüfungsmethode nur annähernd genau ist, nur Spuren von Nitraten enthielt. Da ich etwas mißtrauisch in mein erhaltenes Resultat war, namentlich weil sich der Mauerkalk an einer sehr luftigen Stelle der äußeren Seite der Kuhstallmauer befand, so wiederholte ich meinen Versuch drei Mal. Ich machte mir jedesmal ein wässriges Decoct des Mauerkalkes, theilte dasselbe in zwei gleiche Hälften, kochte die eine Hälfte mit Zink, setzte dann zu beiden Hälften eine gleiche Menge Iodkaliumkleister und Schwefelsäure, wornach ich mit der durch Zink reducirten Hälfte keine stärkere Reaction auf Nitrite als mit der anderen Hälfte erhielt, ein deutlicher Beweis, daß keine oder wenigstens nur sehr geringe Spuren von salpetersauren Salzen in dem Mauerkalk vorhanden waren.

Das zweite Exemplar Mauerkalk, welches ich untersuchte, fand sich erst seit einem Jahre an der Außenseite derselben Mauer und enthielt bereits neben einer großen Menge von Nitriten ebenfalls Nitrate. Um die relativen Mengen der Nitrate und Nitrite zu bestimmen, wurden nach Herstellung der Bläuung in den beiden Lösungen dieselben in solchem Maasse verdünnt, daß das Auge die Farbennüance der nicht reducirten Lösung scharf beurtheilen konnte; dann aber verdünnte ich die reducirte Lösung, welche dunkler aussah, so weit mit einer genau abgemessenen Menge Wassers, daß nun beide Lösungen gleich stark gefärbt erschienen. Das Maas der Verdünnung der reducirten Lösung, worin sich also nicht nur die Nitrite, sondern auch die zu Nitrit reducirten Nitrate befanden, mußte nothwendiger-

weise ein Mittel abgeben, um ungefähr die relative Menge der Nitrate zu den Nitriten zu berechnen.

Das Nähere über die beschriebene Methode der Bestimmung, sowie über die Berechnung der relativen Mengen der Nitrite und Nitrate in ihrem gemeinsamen Gemische, werde ich in einer Fortsetzung dieser Arbeit mittheilen. Ich deute hier bloß darauf hin, daß sich mir bei Anwendung hie und da noch kleine, mir bis jetzt noch unerklärliche Schwierigkeiten darbieten, welche aber durch ein fortgesetztes Studium hoffentlich zu überwinden seyn werden. Auch läßt sich hoffen, daß in nicht ferner Zeit auf obiges Verhalten der Nitrite eine Titirmethode sowohl für Nitrite als auch für Nitrate werde gegründet werden können.

Auf einen Punkt habe ich noch aufmerksam zu machen, welcher in näheren Betracht gezogen zu werden verdient. Die Mauerkalke enthalten nämlich alle etwas Ammoniak oder ammoniakalische Salze, welche durch Kochen mit Zink auch in Nitrite übergeführt werden und also die Bläuung in derjenigen Lösung vermehren sollten, welche mit Zink gekocht wurde. Ich überzeugte mich jedoch, daß die Menge ammoniakalischer Salze im Vergleiche zu der Menge von Nitriten und Nitraten so gering ist, daß ihre Anwesenheit und Wirkungsweise bei Anwendung vorliegender provisorischer Bestimmungsmethode durchaus keinen Fehler in der Berechnung verursacht. Nach der Reduction der Lösungen in der Kälte, wo das Zinkamalgam auf das Ammoniak nicht in obiger Weise zu wirken vermag, erhielt ich nach Zusatz von Iodkaliumkleister und Schwefelsäure durchaus dieselbe Stärke der Bläuung wie nach 5 Minuten langem Kochen.

Gleich wie mit dem zweiten Mauerkalk verhielt es sich mit einem dritten von einer anderen Stelle der Außenseite einer zweiten Mauer desselben Kuhstalles. Hier fand ich sowohl Nitrite als auch Nitrate vor; doch überwog hier die Menge der Nitrate bedeutend diejenige der Nitrite. Dampfte man die eine Hälfte des wässrigen Auszuges ab, glühte man den Rückstand, und löste ihn wieder zu der-

selb
eine
and
nebe
ande
Nitr
vor.
kehr
als
die
gewi
kalk
trite
I
Bezu
selb
ders
eine
Nitr
oder
fand
der
trate
Luft
trate
trite
I
noch
oder
sten
Mau
ben,
zu s
naue
schie
men
quan

selben Menge Flüssigkeit auf, so erhielt man mit dieser Hälfte eine weit dunklere blaue Reaction auf Nitrite als mit der anderen; ein Beweis, daß in dem fraglichen Mauerkalke neben den Nitriten noch Nitrate enthalten sind. In sieben anderen Mauerkalcken fand ich eine sehr große Menge von Nitriten und eine nur sehr geringe Menge von Nitraten vor. Wieder in fünf anderen Mustern fand ich das umgekehrte Verhältniß, indem sie eine größere Menge Nitrate als Nitrite enthielten. Bei vier Mauerkalcken hielten sich die Mengen der Nitrite und Nitrate so ziemlich das Gleichgewicht. Endlich fand ich unter den vierundzwanzig Mauerkalcken nur fünf vor, welche bloß Nitrate und keine Nitrite enthielten.

Nachdem ich so verschiedenartige Zusammensetzung in Bezug auf Nitrat- und Nitritgehalt bei den Mauerkalcken selbst einer und derselben Lokalität, ja sogar einer und derselben Mauer, gefunden hatte, suchte ich vergebens nach einer bestimmten Erklärung der Umstände, in welchen die Nitrification bei der Bildung von Nitriten stehen bleibt oder bis zu derjenigen von Nitraten fortschreitet. Dort fand ich an den verschiedenartigsten Stellen der Außenseite der Mauer eine große Menge Nitrite und nur wenige Nitrate, hier wieder an der Innenseite der Mauer, wo der Luftwechsel lange nicht so regelmäßig stattfindet, nur Nitrate und keine Nitrite, oder wenigstens nur wenige Nitrite.

Es müssen nothwendigerweise außer dem Sauerstoff noch andere Momente das Maas der Oxydation des freien oder gebundenen Stickstoffes beherrschen. Am allernächsten liegt die Idee, daß das verschiedene Verhalten der Mauerkalke nicht allein in der äußeren Umgebung derselben, sondern in ihrer eigenen chemischen Zusammensetzung zu suchen sey. Darüber können uns allerdings nur die genauesten quantitativen Analysen der Mauerkalke der verschiedenartigsten Lokalitäten Aufschluß ertheilen und, namentlich möchte es von besonderem Interesse seyn den quantitativen Gehalt der Mauerkalke an organischen Sub-

stanzen, Eisenoxydul- und oxydsalzen, ammoniakalischen Salzen und Feuchtigkeit zu prüfen, an welcher Arbeit ich bereits begonnen habe, und worüber ich später Mittheilungen machen werde. Die vielen bloß qualitativen Versuche, welche ich mit Mauerkalken angestellt habe, leiteten mich zu keinem sicheren Schlusse über den Einfluß der verschiedenartigen Bestandtheile der Mauerkalke auf die Nitrit- und Nitratbildung. Ich begnüge mich daher einstweilen damit, aufmerksam gemacht zu haben, wie unvollkommen bis dahin der Mauerfraß und die Nitrification überhaupt studirt war. Man hatte sich damit begnügt das Endresultat, nämlich die salpetersauren Salze, nachgewiesen zu haben; der Gegenwart der salpetrigsauren Salze hat man aber nicht nachgeforscht. Und doch ist es vom größten Interesse alle die verschiedenen Mittelstadien zu erforschen, als deren Endresultat erst wir den Salpeter oder die salpetersauren Salze überhaupt zu betrachten haben.

Ueberraschend ist es, in welcher kurzen Zeit in der bloßen Atmosphäre der Kuhställe die Nitrite und Nitrate gebildet werden.

Am 29. Juli 1861 stellte ich in einem Kuhstalle auf einen erhöhten Schaft einen Teller, auf welchem sich gewöhnlicher Mauerkalk befand, der durch wiederholtes Auskochen mit destillirtem Wasser von jeglicher Spur von Nitriten und Nitraten befreit worden war. Der Mauerkalk war vor Staub usw. vollständig geschützt. Am 11. August fand ich noch keine Spur von Nitriten und von Nitraten in dem Mauerkalke; aber am 19. August, also kaum nach Verfluß eines Monates, konnte ich bereits in dem, beiläufig bemerkt trockenen, Mauerkalke reichliche Mengen von Nitriten und noch weit mehr von Nitraten nachweisen. Dieser Versuch beweist auf das deutlichste, daß die in den Kuhställen, sey es nun durch alleinige Ausdünstung der Excremente der Thiere, sey es durch die natürliche Ausdünstung der Kühe selbst, entstandene und an Ammoniak so reiche Atmosphäre die Fähigkeit besitzt in Berührung mit den Mauerkalken in diesen Nitrite und Nitrate zu erzeugen.

II.

Dafs bei der Bildung des Mauerfrafses der Procefs der Nitratbildung durch den der Nitritbildung hindurchgeht, kann ich noch nicht mit mathematischer Sicherheit beweisen. Ich habe jedoch eine Reihe von Versuchen anderer Richtung angestellt, welche so wie Schönbein's Versuche auch auf das deutlichste darthun, dafs der Bildung der Nitrate diejenige der Nitrite vorangehe.

Frischer normaler Menschenharn giebt durchaus keine Reaction, weder auf Nitrite noch auf Nitrate, während er schwach alkalisch reagirt und eine schwache Reaction auf Ammoniak giebt. Nach Verflufs von etwa 6 Stunden bemerkt man noch keine Spur einer Reaction auf Nitrite. Am 26. Juli gelassener Harn gab am 27. Morgens 8 Uhr noch keine Reaction auf Nitrite; um 12 Uhr Mittags fand ich jedoch bereits eine ziemliche Menge Nitrite darin vor. Läfst man dann solchen Harn noch länger der Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes ausgesetzt, so beobachtet man nach längerer Zeit einen Punkt, wo derselbe keine Spur mehr von Nitriten, aber eine reichliche Menge von Nitraten enthält. Die Nitratbildung geht hier sichtbar durch die Nitritbildung hindurch.

Schliesst man aber denselben Harn in ganz frischem Zustande in ein wohl verschließbares Gefäfs ein, wo er vor Luftzutritt völlig geschützt ist, so reagirt er selbst nach vielen Monaten nicht auf Nitrite und Nitrate, wohl aber stark auf Ammoniak. Bringt man ihn alsdann an die Luft, so braucht er viel längere Zeit zur Bildung von Nitriten als der im frischen Zustande sogleich an die Luft hingestellte.

Wie der Urin, so verhalten sich die festen Excremente; frische Excremente reagiren weder auf Nitrite noch auf Nitrate; während ihres Verwesungsprocesses geht aber nach und nach eine reichliche Bildung von Nitriten und hernach diejenige von Nitraten vor sich. Während verwesete Excremente aus einem Stalle, wo Jahre lang Kaninchen sich befunden hatten, eine starke Reaction auf Nitrite und eine

schwache Reaction auf Nitrate gaben, reagirten andere mehr der Verwesung anheim gefallene Excremente nur sehr wenig auf Nitrite und sehr stark auf Nitrate.

Ein merkwürdiges Verhalten zeigte mir eine Sorte gewöhnlichen käuflichen Guanos; bei einem Reichthum an Ammoniak von etwa 67 Proc. und einem grossen Gehalte an organischen Substanzen enthielt derselbe auch nicht die leiseste Spur von Nitriten und Nitraten. Sobald ich ihn aber mit Wasser befeuchtet der Luft aussetzte, bemerkte ich schon nach kurzer Zeit (einigen Stunden) in dem filtrirten Wasser eine reichliche Menge von Nitriten, während noch keine Nitrate nachzuweisen waren. Am Ende von drei Wochen aber waren lauter Nitrate in dem wässrigen Auszuge enthalten: wiederum ein Beispiel dafür, dass die Nitratbildung durch die Nitritbildung hindurchgeht und dass sicherlich das Wasser eine wichtige Rolle bei der Nitrit- und Nitratbildung spielt.

III.

In den obigen Mittheilungen habe ich gezeigt, wie beim Mauerfrasse neben den salpetersauren Salzen eine reichliche Menge salpetrigsaurer Salze nachzuweisen ist, wie ferner die Bildung der Nitrate durch diejenige der Nitrite hindurchgeht. Durch nachfolgende vorläufige Notizen möchte ich schliesslich noch darauf hinweisen, von welcher Bedeutung die genaue Erforschung des Nitrificationsprocesses, vor Allem aber derjenigen Producte, deren Bildung der der Nitrate vorangeht, auch für die Agricultur- und Pflanzenchemie, sowie für die Physiologie überhaupt werden dürfte.

Mehrere Ackererden wurden auf einen Gehalt an Nitriten und Nitraten geprüft; in einigen konnte ich weder Nitrite noch Nitrate nachweisen; für andere aber stellte sich ein kleiner Gehalt an Nitraten heraus.

Sehr interessant scheint mir der Umstand zu seyn, dass viele Ackererden und namentlich solche, welche reich an Humussubstanzen sind, in eminentem Grade die Eigenschaft

besit
Ich
sung
Meng
währ
einen
Unst
Kalis
ger
ducir
lang
Thei
enthi
entn
ten,
und
redu
für
Men
saur
Wu
Blat
scha
jung
ganz
wor
zuge
war
Rüb
sung
Ent
Org
lich

besitzen, salpetersaure Salze in salpetrigsaure umzuwandeln. Ich befeuchtete eine humusreiche Ackererde mit Salpeterlösung und konnte schon nach 18 Stunden eine sehr große Menge von Nitriten in dem wässrigen Auszuge erkennen, während eine andere Ackererde in viel längerer Zeit mit einer gleich großen Menge Salpeterlösung unter denselben Umständen bei gewöhnlicher Temperatur keine Spur des Kalisalpeters zu reduciren vermochte.

Die Ackererde eines kleineren Runkelrübenfeldes hiesiger Gegend zeigte auch in eminentem Maasse diese reducirende Eigenschaft; stand dieselbe auch nur einen Tag lang mit einer Salpeterlösung zusammen, so war der größte Theil des Salpeters in Nitrit umgewandelt. Sie selbst aber enthielt in ihrem unveränderten Zustande, wie sie dem Felde entnommen worden war, nicht die leiseste Spur von Nitriten, aber eine große Menge von Nitraten.

Wie reimt sich nun aber die Abwesenheit von Nitriten und Abwesenheit von Nitraten in der Ackererde mit deren reducirendem Vermögen? Ich habe noch keine Erklärung für dieses sonderbare Verhalten finden können.

Was die Runkelrübe anbetrifft, so läßt sich eine große Menge salpetersaurer Salze, aber keine Spur von salpetrigsauren Salzen in ihr nachweisen, und zwar sowohl in den Wurzeln als auch in der eigentlichen Rübe und in den Blättern.

Die Runkelrübe besitzt in eminentem Grade die Eigenschaft die Nitrite in Nitrate umzuwandeln. Zieht man eine junge Runkelrübe in einer Ackererde auf, welche vorher ganz von Nitraten durch Auskochen mit Wasser befreit worden war, welcher man aber alle diejenigen Salze wieder zugesetzt hatte, die durchs Wasser daraus erfernt worden waren, und begießt man während des Wachstums der Rübe die Erde von Zeit zu Zeit mit einer schwachen Lösung von salpetrigsaurem Kali, so kann man nach gehöriger Entwicklung der Pflanze auch nicht in einem einzigen ihrer Organe salpetrigsaure Salze nachweisen, während eine reichliche Menge von Nitraten darin vorhanden ist. In dem

wässrigen Decoct der Erde läßt sich eine starke Reaction auf Nitrite erhalten.

Den Würzelchen, welche weit ausgebreitet in der Erde sich verzweigen, verdankt sicherlich die Runkelrübe ihre Kraft der Ueberführung der Nitrite der Erde in Nitrate und die Gegenwart dieser in ihren verschiedenen Organen.

Bei obigem Versuche muß man wohl Sorge tragen, daß der Ackererde nicht eine zu große Menge Nitrite zugegeben werde, weil sonst die Pflanze darin vollkommen abstirbt, ohne daß aber in ihren Organen auch nur die leisesten Spuren von Nitriten vorgestanden werden könnten. Hat nun die Runkelrübe während ihrer Lebenszeit das Vermögen, die Nitrite in Nitrate umzuwandeln und die Eigenthümlichkeit nur diese in sich aufnehmen zu können, so schwindet nach ihrem Tode mit ihren Lebensfunctionen auch jene überführende Eigenschaft und wirken nunmehr die einzelnen Theile, wie gewöhnliche organische Substanzen. Zerschneidet man die Runkelrübe in einzelne kleine Scheiben und läßt man diese an der Luft austrocknen bis sie schwärzlich aussehen, so bemerkt man wie nach und nach der Nitratgehalt verschwindet und allmählich die Nitrite auftreten, bis endlich nur solche in ihnen zu finden sind.

Was das Vermögen mancher Ackererden anbetrißt die Nitrate in Nitrite umzuwandeln, so muß es in einem gewissen Verhältnisse zu deren Gehalt an Humussubstanzen stehen. Befreit man die Ackererde von ihrem Gehalt an Nitriten und Nitraten durch kochendes Wasser, gießt man nach und nach unter tüchtigem Umschütteln so viel übermangansäure Kalilösung hinzu bis die überstehende Flüssigkeit schwach röthlich gefärbt ist, wäscht man alsdann die Ackererde mit reinem und dann mit schwach angesäuertem Wasser aus, um alles Manganoxyd aus der Erde zu entfernen, entfernt man vollends jede Spur von Schwefelsäure, so sind die Humussubstanzen so weit oxydirt, daß das salpetersaure Kali, welches ja nicht so leicht wie das übermangansäure Kali seinen Sauerstoff abgiebt, keine Wirkung mehr darauf ausüben kann. Läßt man so behandelte Acker-

erde
langer
erken
- Si
die e
peter
oxyd
das l
doch
samk
- M
folge
Ba

Ue
in F
word
wahr
Unk
schei
hat
bew
gew
Natr
bung
weil
weic
nam

1)
S

erde mit Salpeterlösung stehen, so kann man selbst nach langer Zeit auch nicht die leiseste Spur von Nitriten darin erkennen.

Sind auch die organischen Substanzen (Humus-) nicht die einzigen Bestandtheile der Ackererde, welche die salpetersauren Salze und überhaupt diejenigen Körper zu desoxydiren vermögen, welche ihren Sauerstoff leicht abgeben, das heisst in ozonisirtem Zustande enthalten, so verdienen doch gewiss sie vor allen anderen unsere erste Aufmerksamkeit.

Meinen heutigen Mittheilungen wird bald eine Fortsetzung folgen.

Basel den 14. September 1861.

VIII. *Ueber die Farbe des Wassers;* *von W. Beetz.*

Ueber die Farbe des Wassers im Meere, in Seen und in Flüssen sind erst seit kurzer Zeit Aufklärungen gegeben worden, welche auf wirklichen Untersuchungen beruhen, während man sich früher damit begnügte, die vollständige Unkenntniss der Ursachen einer täglich beobachteten Erscheinung durch Hypothesen zu verdecken. Erst Bunsen¹⁾ hat den einfachen Satz ausgesprochen und experimentell bewiesen: „das chemisch reine Wasser ist nicht, wie man gewöhnlich anzunehmen pflegt, farblos, sondern besitzt von Natur eine rein blaue Färbung.“ Er bemerkte diese Färbung, wenn er durch eine zwei Meter lange Wassersäule weisse Porzellanstücke betrachtete. Er erklärte die abweichende braune bis schwarze Färbung mancher Wässer, namentlich der norddeutschen Landseen, aus eingemischten

1) Liebig und Wöhler, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, Bd. LXII, S. 44*.

humintartigen Stoffen, die grüne Färbung der Schweizer Seen und, in noch höherem Grade, der Kieselquellen Islands, aus dem, durch Spuren von Eisenoxydhydrat bedingten Farbenton des gelblichen Untergrundes und des die Quellen umschliessenden Kieselinters. Ganz vor Kurzem hat Wittstein ¹⁾ durch sorgfältige chemische Untersuchungen nachgewiesen, daß auch die grüne Farbe organischen Beimischungen ihren Ursprung verdanke. Nach ihm weicht die Farbe eines Wassers um so weniger von der blauen ab, je weniger organische Substanz es enthält. Mit der Zunahme derselben geht die blaue Farbe allmählich in die grüne, und aus dieser, indem das Blau immer mehr zurückgedrängt wird, in die braune über. Das Wasser ist um so weicher, je mehr es sich der braunen, und um so härter, je mehr es sich der blauen Farbe nähert; die Ursache liegt aber nicht in einem größeren oder geringeren Gehalte an organischer Substanz, sondern an Alkali, von welchem erst wiederum der Gehalt an organischer Substanz abhängt. Dieses Alkali löst die organische Substanz in Gestalt von Humussäure auf. Wenn ein Wasser nicht viel Humussäure aufgelöst enthält, so beruht dieß nicht in einem Mangel an Humussäure in dem von ihm berührten Terrain, sondern darin, daß dieses Terrain dem Wasser nicht die hinreichende Menge an alkalischem Lösungsmittel darbietet.

Nach diesen Resultaten dürfte die Frage, aus welchen chemischen Gründen einige Wasser blau, andere grün, noch andere braun erscheinen, als erledigt zu betrachten seyn. Ich erlaube mir hier nur wenige Bemerkungen über einige physikalische Erscheinungen, welche an den farbigen Wassern beobachtet worden sind.

Fast allgemein hat man früher das Wasser denjenigen Körpern zugezählt, welche eine andere Farbe im durchgehenden, wie im reflectirten Lichte haben. Newton sagt²⁾: »das Wasser reflectire die violetten, blauen und grünen

1) Sitzungsber. der K. bayer. Akad. der Wissensch. in München. 1860, S. 603*.

2) *Optices lib. 1, pars II, propos: X, exper; XVII**.

Strahlen, lasse aber die rothen leicht hindurchgehen. Graf Xavier de Maistre¹⁾ hält die Farbe des Wassers für blau im reflectirten, für gelblich orange im durchgehenden Lichte; Arago²⁾ für blau im reflectirten, für grün im durchgehenden. Gemeinsam ist diesen drei Angaben die Ansicht, daß das Blau des Wassers nur im reflectirten Lichte auftrete.

Bei dem Versuche, welchen Bunsen anstellte, um sich von der Farbe des destillirten Wassers zu überzeugen, handelte es sich nur um durchgehendes Licht, und doch fand er die Farbe blau. Um durch noch längere Wassersäulen hindurchschauen zu können, benutzte ich folgenden Apparat. Ein Kasten, dessen rechteckiger Boden und dessen lange Seitenwände a, a' , Fig. 13, Taf. I, aus Guttaperchaplatten verfertigt sind ist an beiden Enden durch parallele Platten von sehr weißem, dünnem Spiegelglase b, b' geschlossen. Unmittelbar innerhalb dieser Platten sind zwei ganz ähnliche Glasplatten c, c' aufgestellt, welche nach Liebig's Methode eine silberne Spiegelbelegung erhalten haben. Aus dieser Belegung sind bei d und d' schmale Streifen herausgekratzt, wie es aus Fig. 14, Taf. I ersichtlich ist. Wirft man mittelst eines Heliostats ein Bündel directen Sonnenlichts auf den Spalt d , so wird dieses zwischen den beiden Spiegeln mehrmals hin- und hergeworfen; füllt man den Kasten mit einer Flüssigkeit, so ist das Licht gezwungen, wiederholentlich durch diese Flüssigkeit hindurchzugehen, und man hat es in der Hand, die Länge der zu durchwandernden Schicht durch Veränderung des Einfallswinkels der Strahlen zu vergrößern oder zu verkleinern. Man kann diesen Versuch objectiv und subjectiv anstellen. Läßt man die Strahlen so in den Spalt d fallen, daß sie nach einer gewissen geraden Anzahl von Reflexionen gerade auf den Spalt d' fallen, so kann man sie nach dem Austritte auf einem Schirm auffangen: die Anzahl der Reflexionen läßt sich durch allmähliche Drehung des Kastens ver-

1) *Salmonia*, 3 Ed., p. 317; Pogg. Ann. I. Eghd., S. 67*.

2) *Comp. rend.* VII, 219; Pogg. Ann. Bd. XLV, S. 470*.

ändern. Benutzt man aber nur den beleuchteten Spalt *d*, wie einen selbstleuchtenden Gegenstand, und schaut durch *d'* in den Kasten, so sieht man nebeneinander eine Reihe an GröÙe abnehmender, dünner, mehr sich einander nähernder subjectiver Bilder des Spaltes, welche den verschiedenen Reflexionszahlen entsprechen. Ich hatte zuerst zur Anstellung einiger Versuche die Spiegel so gestellt, daß die unbelegten Glasflächen einander zugekehrt waren. Das Licht mußte dann bei jeder Reflexion zweimal durch die Glasplatten selbst hindurchgehen. Enthielt dann das Gefäß keine Flüssigkeit, so erschien das aufgefangene Bild nach sechs bis achtmaliger Reflexion zwar noch fast weiß; wenn man aber die neben einander liegenden subjectiven Bilder mit einander verglich, so bemerkte man, daß jedes folgende einen etwas gelberen Anstrich hatte. Ich vermuthete, daß diese Färbung der, nunmehr schon ziemlich mächtigen, Glasschicht zuzuschreiben sey, welche das Licht zu durchlaufen habe, und kehrte deshalb die Spiegel, welche nunmehr auf der versilberten Seite selbst polirt wurden¹⁾, um. Indefs auch jetzt zeigte jedes folgende Bild eine gelbere Färbung, freilich in geringerem Grade. Die Farbe ist also der eigenthümlichen Körperfarbe des Silbers, an welchem ein Theil des Lichtes diffus reflectirt wird, zuzuschreiben. Sie ist indess, wenn die Politur recht vollkommen ist, so unbedeutend, daß sie die weitere Beobachtung nicht stört.

Wird der Kasten bis zur Hälfte seiner Höhe mit destillirtem Wasser gefüllt, und der ganze Spalt *d* beleuchtet, so sieht man auf der auffangenden Platte den unteren Theil des Bildes blau gefärbt, während der obere Theil weiß bleibt. Schaut man durch den Spalt *d'* und zwar durch den oberen Theil des Kastens, so hat man die Reihe der mehr und mehr gelblich gefärbten Bilder; schaut man durch den unteren Theil, so erscheint jedes folgende Bild stärker blau, mit einem sehr schwachen Stich ins Grünliche, gefärbt.

1) Ich verdanke die ersten Spiegel der Güte des Hrn. Dr. Klenger hieselbst, die letzteren der des Hrn. Dr. Schindling in Doos.

Ganz ebenso ist die Erscheinung, wenn man Wasser aus dem, tief blau aussehenden, Achensee in das Gefäß giebt; ersetzt man es aber durch Wasser aus dem Tegernsee, so erscheinen schon nach wenigen Reflexionen die Bilder intensiv gelbgrün (nicht blaugrün), wiewohl mein Kasten nur 250^{mm} Länge hat. Begießt man Gartenerde mit Wasser, läßt dieses abfließen, filtrirt es, und mischt es zuerst in kleinen, dann in größeren Mengen zu destillirtem Wasser, so geht die Färbung der Bilder zuerst in den gelbgrünen, dann immer mehr in den braunen Farbenton über, ganz wie es nach den Versuchen von Wittstein zu erwarten war. Die Farben, von denen in diesen Versuchen die Rede war, sind also auch die im durchgehenden Lichte.

Welche Erscheinungen haben nun den Gedanken an eine Zweifarbigkeit des Wassers hervorgerufen?

Newton stützt seine Ansicht auf eine Erfahrung Halley's: als dieser an einem sonnigen Tage sich in einer Taucherglocke bis zu einer großen Tiefe in das Meer versenkt hatte, erschien ihm die obere Fläche seiner Hand, welche durch das Meerwasser und ein Glasfenster in der Glocke direct von den Sonnenstrahlen beleuchtet wurde, rosenroth, das Wasser unter ihm dagegen und die untere Fläche seiner Hand, welche durch die, vom untern Wasser reflectirten Strahlen beleuchtet war, grün. Das Experiment ist offenbar irrig aufgefaßt. Die von unten herkommenden Strahlen sind nicht vom Wasser reflectirt, sondern durchgelassen; reflectirt sind sie von fremdartigen Körpern im Wasser, namentlich vom Meeresboden. Je weiter dieser entfernt ist, d. h. je tiefer das Meer an der betreffenden Stelle ist, desto tiefer wird auch die Färbung des Wassers erscheinen; tief grün, wenn das Wasser ein grünes, tief blau, wenn es ein blaues (im durchgehenden Lichte) ist. Die Strahlen, welche von oben in die Glocke fielen, mußten ebenfalls die Farbe des Wassers zeigen, aber in sehr viel geringerem Grade, weil die von ihnen durchlaufene Wasserschicht unter allen Umständen weit weniger mächtig ist, als die, welche die von unten eindringenden Strahlen

durchlaufen haben. Die oberen Strahlen brachten also verhältnißmäßig noch mehr weißes Licht, als die unteren, und daher erscheint die obere Handfläche in der Contrastfarbe, d. h. rosenroth, aus demselben Grunde, aus welchem in der blauen Grotte auf Capri neben dem tiefen Blau die Contrastfarbe Orange, auftritt.

Arago führt zur Stütze seiner Ansicht keinen Versuch an, er schlägt nur einen anzustellen vor, von welchem später die Rede seyn soll. Er führt vielmehr seine Ansicht mit den Worten ein: »die reflectirte Farbe des Wassers ist blau, die durchgelassene, wie Einige glauben, grün,« und begündet auf diese Voraussetzung die Erklärung einiger Erscheinungen. Namentlich zeigt er, weshalb die Wellen des blauen Meeres grün sind. Er betrachtet dieselben als Wasserprismen, an deren einer Fläche das weiße Tageslicht reflectirt, durch die folgende Welle hindurchgeschickt, und dadurch gegrünt wird. Man kann sich aber leicht überzeugen, daß es sich hier bei den grünen Wellen, wie bei der großen blauen Wassermasse nur um durchgelassenes Licht handelt. Betrachtet man z. B. die spiegelglatte Fläche des Achensees bei vollkommener Windstille, so sieht man die Farbe von der Mitte her nach den Ufern zu allmählich aus dem tiefsten Blau in ein helles Grün, und endlich in ein gelbliches Roth übergehen. Dieses Wasser, welches sehr geringe Mengen humussaurer Salze enthält, färbt das Licht, wenn es nur durch dünne Schichten hindurchgeht, grünlich, wenn durch dickere, blau. Diese Erscheinung hat viele Analogien. Newton sagt¹⁾: Man muß bemerken, daß bei gefärbten Flüssigkeiten die Farbe sich mit der Dicke zu ändern pflegt. Z. B. erscheint eine rothe Flüssigkeit, in einem kegelförmigen Glase zwischen Licht und Auge gebracht, nahe am Boden, wo sie am dünnsten ist, blaß gelblich, etwas höher, wo sie dicker ist, goldgelb, wo sie noch dicker ist, roth, endlich wo sie am dicksten ist, gesättigt roth. Man muß also annehmen, daß eine solche Flüssigkeit die violetten und indigblauen Strahlen sehr leicht

1) a. a. O.

abso
die
(
wass
grün
weiß
sers
die
beid
gebl
weni
durch
mag,
I
an d
tern
der
derse
nen
reflec
so w
men.
(noch
Batte
nen
bis
gensc
nun
schaf
von
That
Dick
Bode
vom
die
der
deutl

absorbire, die blauen schwerer, die grünen noch schwerer, die rothen am schwersten.

Ganz ebenso verhält es sich bei dem blaugrünen Seewasser. Es absorbirt die rothen Strahlen sehr leicht, die grünen schwerer, die blauen am schwersten. Geht also weißes Tageslicht durch eine geringe Schicht dieses Wassers bis zum Boden, und kehrt, von diesem reflectirt, in die Luft zurück, so ist es schwach gegrünt. Hat es auf beiden Wegen längere Strecken zurückzulegen, so wird es gebläut. Ebenso erscheint es grün, wenn es durch die wenig mächtige Schicht einer Welle (in die es freilich durch Reflexion an einer anderen Welle gelangt seyn mag) hindurchgegangen ist.

Ich sprach soeben von der röthlich gelben Färbung an den seichtesten Stellen, welche von so vielen Beobachtern bemerkt worden ist. Diese Farbe hängt ganz von der Beschaffenheit des Bodens ab. Am häufigsten wird derselbe aus weißlichem Sande oder weißlichen abgeriebenen Geröllen bestehen. Wären dieselben absolut weiß, reflectirten sie Farben mit gleicher Vollkommenheit diffus, so würde die röthliche Färbung gar nicht zu Stande kommen. Man braucht sich aber nur zu erinnern, daß eine (noch ungebrauchte) poröse Thonzelle einer Grove'schen Batterie, so lange sie trocken ist, vollkommen weiß erscheinen kann, während sie mit Wasser benetzt, sich rostgelb bis fleischroth färbt. Ihre Oberfläche erlangt also die Eigenschaft, rothes Licht vorwiegend zu reflectiren. Haben nun die, den Seeboden bildenden Körper dieselbe Eigenschaft, so wird dieser Boden an denjenigen Stellen, welche von ganz dünnen Wasserschichten bedeckt sind, in der That röthlich erscheinen. Nimmt die Wasserschicht an Dicke zu, so gelangen schon weniger rothe Strahlen zum Boden, die von dort zurückkehrenden werden aber wieder vom Wasser theilweise verschluckt, und so verliert sich die rothe Farbe immer mehr, wiewohl man die Gestalten der auf dem Grunde liegenden Gegenstände noch immer deutlich unterscheidet.

Uebrigens wird auch diese rothe Färbung durch Contrast sehr erhöht. Ich habe öfter an den seichten Stellen der Aare die Beobachtung gemacht, daß das lebhaft Roth, welches sie zeigen, sehr abnimmt, wenn man diese Stellen nicht neben dem schönen Grün des tieferen Wassers, sondern durch eine Röhre isolirt betrachtet.

Es scheint, als widerspräche eine Thatsache der Behauptung, daß das Seewasser in dünneren Schichten grünlich, in dickeren blau sey: Ein weißer Gegenstand, wie z. B. das Ruder eines Schiffes, erscheint, zu einer ganz unerheblichen Tiefe unter die Fläche des Achensees getaucht, deutlich und rein blau, unter die des Tegern- und Königssees getaucht, intensiv grün. Das Licht, welches die weißen Flächen, die sich in der Lage der Ruderflächen befinden, trifft, hat aber keineswegs nur die kurze Wasserstrecke von der Seeoberfläche an durchlaufen, sondern kommt von der Seite her durch eine mächtige Wassermasse, in der es die charakteristische Farbe des Sees angenommen hat. Bringt man dieselbe weiße Fläche nahe am Ufer und dem Ufer zugewandt eben soweit unter Wasser wie früher im weiteren Abstände vom Ufer, so sieht sie im Achensee fast unverändert weiß, im Tegernsee aber noch immer grünlich aus, weil die Färbung des blauen Wassers erst bei größeren, die des grünen schon bei sehr kurzen Strecken merklich wird.

Diese auffallend starke Färbung durch seitlich einfallendes Licht führt mich auf den Vorschlag, welchen Arago gemacht hat, um die wahre Farbe des Wassers im durchgehenden Lichte kennen zu lernen.

Man soll ein hohles, aus Glasplatten zusammengesetztes, Prisma so unter Wasser bringen, daß das, horizontal unter der Wasseroberfläche hingehende, Licht von der Hypotenusenfläche total reflectirt wird. Poggendorff hat statt dieses Apparates einen bloßen Glasspiegel, der unter 45° gegen den Horizont geneigt ist, vorgeschlagen¹⁾. Ich hatte Gelegenheit, einen entsprechenden Versuch ganz beiläufig

1) Pogg. Ann. Bd. XLV, S. 474*.

anzu-
glas-
verse-
daß
fläche
Neig-
Teger-
es au-
aber
centr-
Vors-
selbst-
wür-
gehen-
zeige,

D
feste
solch-
besta-
wenn
durch-
währ-
gewü-
ersch-
merk-
im W-
mer
diese
masse

B
flusse-
bung-
Viele
der V-
sind

1) V
Pogg

anzustellen, indem ich eine, an den Enden durch Spiegelglasplatten geschlossene und in der Wand mit einem Loche versehene Blechröhre dadurch mit Wasser füllen wollte, daß ich sie in schiefer Stellung ganz unter die Seeoberfläche tauchte. Wenn die obere Glasplatte die richtige Neigung hatte, so reflectirte sie bei sonnigem Wetter im Tegernsee ein so intensiv smaragd grünes Licht, wie ich es auf anderem Wege niemals gesehen habe, im Achensee aber ein blaues Licht, wie wenn dasselbe durch eine concentrirte Kupfervitriollösung hindurchgegangen wäre. Der Vorschlag Arago's ist also gewiß treffend, und wenn er selbst Gelegenheit gehabt hätte, denselben auszuführen, so würde er von dem Gedanken, daß das Wasser im durchgehenden und im reflectirten Lichte verschiedene Farben zeige, gewiß zurückgekommen seyn.

Die Farbe des Wassers ändert sich natürlich, sobald feste Theile in ihm suspendirt sind. Durch Einmischung solcher Körper, welche, wie die oben erwähnten Bodenbestandtheile, rothes Licht vorzugsweise diffus reflectiren, wenn sie benetzt sind, kann es dann leicht roth erscheinen; durch größere Massen weißlichen Sandes, welches die Seen während eines anhaltenden Sturmes von ihrem Grunde aufgewühlt oder die Flüsse aus ihrem Bette abgerieben haben, erscheint das Wasser weit heller, als sonst. Ebenso bemerkt Simony¹⁾ daß der Wolfgang- und der Attersee im Winter, wo sie am klarsten sind, schwarzgrün, im Sommer dagegen blaugrün bis himmelblau aussehen, und hält diese Färbung wesentlich bedingt durch die in der Schlammmasse vorherrschenden Mergel und grauen Sandsteine.

Bei den vorstehenden Betrachtungen ist von dem Einflusse der Färbung des Himmels und der übrigen Umgebungen gänzlich abgesehen worden. Es giebt noch immer Viele, welche in diesen Umständen den wesentlichen Grund der Wasserfarbe suchen. Jene nebensächlichen Einflüsse sind aber neben den Hauptursachen in Rechnung zu ziehen.

1) Wiener Sitzungsbericht IV. 542*.

Wenn die Seeoberfläche ganz ruhig ist, so wirkt sie als Spiegel. Die eigentlichen Farbenerscheinungen des Wassers werden um so mehr verdeckt, je mehr regelmäfsig reflectirtes Licht sich von der betreffenden Stelle aus dem Auge mittheilt; sie erscheinen am reinsten da, wo kein, oder wenig Licht regelmäfsig reflectirt wird, z. B. gegen einen dunklen Fels hintergrund. Ist aber der See bewegt, so fällt die regelmäfsige Reflexion immer mehr weg, und das Ansehen der Wasserfläche verändert sich durch das Auftreten der Wellen in sehr complicirter Weise, abhängig von Uferbildung, Richtung und Stärke des Windes, und ähnlichen Umständen, welche der Seefahrer aus jenem Ansehen so gut zu erkennen, ja vorherzusagen vermag.

Ich erlaube mir noch eine Bemerkung über den Ort, an welchem die grüne Färbung vom Wasser angenommen wird. Der Tegernsee erhält sein Wasser durch mehrere Zuflüsse, unter denen die Weifsach und die Rottach die bedeutendsten sind. Nach langer Trockenheit ist das Bett der Weifsach vollkommen leer; die Gerölle, welche den Boden desselben bedecken, sind ganz trocken und fast weifs. Als nach solcher Trockenheit ein Regen in Aussicht stand, begab ich mich den Lauf der Weifsach hinauf, um das erste Wasser, welches den Boden benetzte, beobachten zu können. Dieses Wasser konnte keinen anderen Ursprung haben, als atmosphärischen. Trotzdem erschien die erste Menge desselben, welche hinreichend war, um, wenn man sich auf das Flußbett niederbeugte, durch eine Stelle hindurchschauen zu können, sogleich grünlich gefärbt. Die humussauren Salze müssen also im Flußbette bereits fertig gebildet vorliegen, und werden nur vom Wasser aufgelöst, nicht aber braucht man anzunehmen, daß die Zuflüsse speisenden Quellwasser schon eine alkalische Lösung mitbringen müssen, um nachher die Humussäure auflösen zu können.

Das Wasser atmosphärischen Ursprungs in seinem festen Zustande als Eis und Schnee ist ebenfalls blau. Die Gletscher der Alpen und Islands zeigen auch dann diese

Farb
sche
und
Glet
ein
Thei
ware
fen
diese
welc
gebl
Farb
here
welc
in d
Die
Eisk
vielf
Eis
Flüs
und
Bild
E

- 1) I
- 2) I
- 3) V

Farbe ¹⁾, wenn die benachbarten, zum Theil von den Gletscherabflüssen herrührenden Wasser grün gefärbt sind. H. und A. von Schlagintweit ²⁾ schätzten die Farbe des Gletschereises in den Spalten gleich der Mischfarbe, welche ein Farbenkreisel zeigte, auf welchen 74,9 Theile Weifs, 24,3 Theile Kobaltblau und nur 0,8 Theile Grün aufgetragen waren. Osann ³⁾ sah das Licht in einem etwa 2 Fufs tiefen Loche in dem Gebirgsschnee tiefblau, und glaubt, dafs diese Färbung der blauen Farbe der Luft zu danken sey, welche in den oberen Schichten stärker als in den unteren gebläut sey, und ist deshalb der Meinung, dafs die blaue Farbe des Gletschereises durch die der Luft in jenen höheren Schichten erhöht werde. Aber der Versuch, auf welchen er sich stützt, gelingt mit frisch gefallenem Schnee in der Ebene ebensogut, wie oberhalb der Schneeegränze. Die blaue Färbung rührt von der Farbe der vielen kleinen Eiskrystalle her, welche das Licht, in einem solchen Loche vielfach hin- und hergeworfen, durchirren mufs. Grünes Eis kann wohl nur durch das Gefrieren grüner Seen und Flüsse erzeugt werden; der atmosphärische Niederschlag und die Zusammendrückung des Hochfirns können nur zur Bildung von blauem Eise Veranlassung geben.

Erlangen im December 1861.

1) Bunsen, a. a. O. S. 47*.

2) Phys. Geogr. der Alpen, I, S. 22.

3) Verh. d. Würtzb. Ges. IV., 231*.

IX. *Ueber die nähern Bestandtheile des Meteor-
eisens; von Freiherrn von Reichenbach.*

XIX.

Die Nadeln. Die Eisenkugélchen. Der Mohr.

Eine eigenthümlich ausgesprochene Eisenverbindung in vielen Meteoreisen besteht in äusserst feinen, streng geradlinigen *Nadeln*, welche in die Eisenmassen eingelagert sind. Sie sind auf der polirten Eisenfläche nicht sichtbar, werden aber nach der Aetzung blafs röthlichgelb, wie das Band-eisen (Tänit). Stark verdünnte Säuren lösen das Balken-eisen und Fülleisen, lassen aber nächst Bandeisen (Tänit) und Glanzeisen (Lambrit) auch diese Nadeln unangegriffen, und legen sie metallisch glänzend blofs. Sie erscheinen, obgleich vereinzelt, dennoch unter einander meistens durch den ganzen Meteoriten in einem ausgezeichneten Parallelismus. Zuweilen gelingt es, sie ihrer Längenrichtung nach in die Schnittfläche zu bekommen, wo sie dann in äusserster Feinheit zerstreute kurze glänzende Parallellinien bilden: ihre Länge überschreitet selten zwei Linien.

In den meisten Fällen werden sie quer ihrer Axe, vertical oder schief darauf geschnitten, und erscheinen dann auf der Aetzfläche als glänzende zerstreute Punkte. Doch mufs hier darauf aufmerksam gemacht werden, dafs nicht immer und nicht alle fein glänzenden Punkte auf geätzten Meteoreisen Nadeleisen sind. Es entstehen beim Aetzen vieler Meteoreisen Millionen sehr feiner *glänzender Grübchen*, welche einen ähnlichen, etwas mattern, jedoch weissen und reichlichen Schimmer erzeugen, (worüber später mehr), während die Nadelquerschnitte röthlich gelbliche Farbe haben, und in weit geringerer Anzahl, bisweilen selbst vereinzelt, erscheinen.

Das *Vorkommen* ist an keine besondere Substanz oder Eisenart in den Meteoriten gebunden, ich habe sie in Balkeneisen (Kamacit), in Fülleisen (Plessit), in Schwefeleisen

(Magnetkies) gefunden. Zuerst habe ich sie in *Cap*, also im Fülleisen, wahrgenommen, wo die Nadeln in nicht grofser Menge, aber aus dem grauen Grunde des Fülleisens in grellem Glanze hervorleuchten und das erste Merkmal abgeben, dafs die Eisenmasse nicht ein terrestrischer Abfall, sondern ein sehr edler Himmelskörper ist. *Durango* hat zahlreiche glänzende Pünktchen und Strichelchen auf seinen Aetzflächen, die offenbar die Köpfe von durchschnittenen Nadeln sind; sie sind vermengt mehr und minder blafs röthlichgelb, und befinden sich in Fülleisenfeldern. *Texas*, *Seneca*, *Elbogen*, *Bruce*, haben in meinen Exemplaren alle im Fülleisen äufserst feine metallisch glänzende Pünktchen, die nur quer durchschnittenen Nadeln seyn können.

In der Sammlung der Universität zu Göttingen, welche durch die Freigebigkeit des Hrn. Wöhler sich schon zu 100 Fallorten erhebt, befindet sich ein von diesem dorthin geschenkter *St-Rosa*, in dessen Fülleisen zahlreiche Nadeln zu sehen sind. Hr. Wöhler hatte die Güte, ihn mir hieher zur Ansicht mitzutheilen. *Rasgata*, den wir Hrn. Boussingault's Thätigkeit verdanken; ist ein Meteorit, der seiner eigenthümlichen Zusammensetzung nach bis jetzt ziemlich allein steht. Dafs er sich, nach Hrn. Wöhler's Analyse, mit 92,35 Eisen, 6,71 Nickel, 0,25 Kobalt und 0,35 Phosphor, von andern Meteoriten in nichts auszeichnet, ist unerwartet. Eine Zerlegung in nähere Bestandtheile ist von *Rasgata* noch nicht versucht worden und wird bei der innig feinen Verwebung seiner Componenten schwierig und bedenklich seyn. Seinem Aussehen und aller Analogie nach besteht er in seiner Grundmasse aus Fülleisen (Plessit) wie *Cap*, in die einerseits sichtlich Glanzeisen (Lambricit) in Stäbchenform, anderseits äufserst feine röthlich gelbe Nadeln eingewoben sind, welche hier die Stelle des Bandeisens (Tänits) vertreten. Sie sind aber so überaus fein, dafs sie mit dem doppelten Suchglase noch nicht erreicht werden können, sondern nur der ganzen Aetzfläche einen röthlichen Stich geben.

Sehr reichlich kommen die Nadeln im Balkeneisen (Ka-

macit) vor, zunächst in *Claiborne*. In meinen Exemplaren besitze ich sie theils im Querschnitte, theils der Länge nach auf einigen Aetzflächen liegend. Mitten unter den schimmernden Aetzgrübchen leuchten sie entlang blitzend hervor. In *Hauptmannsdorf* findet man sie zahlreich, theils auf dem Querschnitte in feinen gelblich weissen Pünktchen, theils der Länge nach durch Aetzung bloßgelegt. Doch muß man sich hier wohl hüten, sie weder mit dem in Linien angeätzten Blätterdurchgange, noch mit dem Schimmer der Aetzgrübchen, noch mit eingestreutem feinen Glanzeisen, (Lambrit) zu verwechseln, die alle im Aussehen den Nadeln mehr oder minder nahe kommen. Aus diesem Grunde, und weil er erst am Ende seiner Abhandlung nur mit wenigen Worten der Blättchen von sogenanntem Schreibersits erwähnt, welche in den Schnitten der Balkeneisenkry- stalle (des Kamacits) liegen sollen, was höchst wahrscheinlich auf Verwechslung beruht, vermag ich die Besorgniß nicht zu unterdrücken, daß Hr. Neumann diese Nadeln im *Hauptmannsdorf* etwas zu wenig beachtet und bei dem verführerischen, auffallenden Parallelismus, den sie unter einander befolgen, bisweilen für Schichtungslinien genommen haben möchte. *Misteca* besitzt im Balkeneisen reichliche gelblich glänzende Pünktchen, die alle quer der Längenaxe durchschnitene Nadeln sind.

Auch in *Schwefeleisen* kommen solche Nadeln eingelagert vor. In *Madoc* sind sie zahlreich in demselben vorhanden. Von *Hauptmannsdorf* aber liegt ein Exemplar vor mir, wo im Magnetkiese tausende von lichten glänzenden Pünktchen, stellenweis dicht zusammengedrängt, unter der Lupe sich zeigen.

In den Eisenpartikeln der *Steinmeteoriten* bin ich Nadeleisen bis jetzt nicht begegnet.

Nicht gefunden habe ich die Nadeln, wenigstens in meinen und in denen der Berliner Museumssammlung nicht, in *Schwetz*, *Lockport*, *Burlington*, *Orangeßufs*, *Cabaja*, *Senegal*, *Tucuman*, *Ruff*, *Agram*, *Cosby*, *Seeläsgen*, *Tula*, *Sa-repta*, auch in der ganzen Pallasgruppe nicht.

Z
Glan
senm
jedoc
kaum
aus
porti
die
teori
bei
gebe
halte
irgen
allei
Eise
Proc
und
könn
die
nere
phen
und
kein
liche
ver
dam
die
brit
lich
abe
Bes
nur
stin
Qu

Zu einer *chemischen Untersuchung* dieses durch seinen Glanz ausgezeichnet schönen nähern Bestandtheils der Eisenmeteoriten sind wir bis jetzt nicht gelangt. Es läßt sich jedoch mit einiger Sicherheit vorhersagen, daß sein Inhalt kaum aus etwas anderem zusammengezetzt seyn kann, als aus Eisen und Nickel, muthmaßlich in keiner andern Proportion, als in der des Bandedisens (Tänits). Wenn man die Gesammtbestandtheile betrachtet, wie sie bei den Meteoriten von *Cap*, *Rasgata* und *Babbsmill* in Fülleisen, und bei *Hauptmannsdorf* und *Claiborne* in Balkeneisen sich ergeben, so findet man, daß sie qualitativ nichts anderes enthalten, als überall die Trias überhaupt, und daß, wenn irgend ein bemerkenswerther Unterschied statt hat, dieser allein in dem etwas größern Verhältnisse des Nickels zum Eisen bestehen könnte, (in *Babbsmill* 17 Proc., in *Cap* 16 Proc., in *Claiborne* 12½ Proc.), obwohl dieß von *Rasgata* und *Hauptmannsdorf* nicht ebenso gesagt werden kann. Es können folglich die Nadeln kaum etwas anderes seyn, als die *Substanz des Bandedisens (Tänits) in einer vollkommeneren Ausbildung, nämlich als Krystalle*, was sie im amorphen Tänite nicht sind.

Bis jetzt sind diese Nadeln nicht berücksichtigt worden, und unsere neuern mineralogischen Lehrbücher thun ihrer keiner Erwähnung. Man hat den Tänit, und die nadelähnlichen Stäbchen des Glanzeisens (*Lambrits*) oft mit ihnen verwechselt, ja nicht selten selbst das Phosphornickeisen damit vermengt. Allein dieß sind verschiedene Gegenstände, die strenge aus einander gehalten werden müssen. *Lambrit* ist immer zinnweiß bis *bläulich weiß*; *Tänit* ist *röthlich gelb*, aber *formlos*; unsere Nadeln sind *röthlich gelb*, aber *krystallisirt*. Sie sind ein wohlcharakterisirter näherer Bestandtheil des Meteoreisens, dessen klarer Erkenntniß nur die chemische Weihe fehlt.

Die parallele Lagerung ist dabei sichtlich durch ein bestimmtes Verhältniß der Nadeln zum Blätterdurchgange der Quermasse bedingt.

Die Eisenkugelnchen.

Ueber die Kugelnchen, welche in den Steinmeteoriten wie *Utrecht*, *Borkut*, *Benares*, *Pultawa*, *Clarac*, *Kaba*, *Quenggouk* u. a. m. zahlreich vorkommen, habe ich mich in frühern Abhandlungen weitläufig ausgesprochen; ähnliches liefert uns die Pallasgruppe; dafs aber auch im Eisen ein Analogon hievon zu finden seyn könnte, dessen hatte ich mich bei jenen Untersuchungen nicht versehen. Als ich sowohl im vorigen Sommer als auch heuer die schöne Sammlung von Meteoriten der Universität zu Berlin aufmerksam durchging, fielen mir mitten im Eisen der Trias kleine runde Fleckchen auf, so vollständig kreisrund ausgebildet, als ob sie mit dem Zirkel ausgeführt worden wären. Ich gewahrte diefs zunächst an zwei Exemplaren von *Schwetz*, dann an einen schönen *Durango*, den Alex. v. Humboldt geschenkt hatte, u. a. m. Als ich diefs Hrn. G. Rose¹⁾, dem Vorsteher der Sammlung, als eine Neuigkeit zeigen wollte, war er bereits damit bekannt. Später nach Hause zurückgekehrt, war ich sehr begierig, die Erscheinung in meiner eigenen Sammlung aufzusuchen, worin sie bis dahin noch nicht wahrgenommen zu haben, ich mir zum Vorwurfe machte. Allein sonderbarer Weise war ich nicht im Stande, bei der angestrengtesten Aufmerksamkeit unter allen meinen Eisenmeteoriten, 67 Localitäten an der Zahl, auch nur ein einziges solches rundes Scheibchen aufzufinden. Es ist mir diefs in der That recht unangenehm. Was ich also hierüber zu sagen vermag, beruht lediglich auf den Beobachtungen, die ich in Berlin zu machen Gelegenheit hatte, wo mir mit einer Gefälligkeit Zutritt und Mufse zum Studiren der interessanten Sammlung gegönnt wurde, für welche ich meinen Dank niemals warm genug auszusprechen vermag.

Auf allen Schnitten, und in welcher Richtung sie immer geführt seyn mochten, erschienen die Scheibchen rund. Sie

1) Diese Blätter waren bereits geschrieben, als ich in gegenwärtigen Annalen Bd. 113, S. 187 der Erwähnung begegnete, die G. Rose davon bereits that.

halfter
und
komm
teorit
messe
Ausse
mach
durch
trübte
gelau
sengr
keine
kenn
mit e
an ei
Io
eisen
ich l
Rand
abge
in se
D
gelch
sicht
Säur
Farb
über
ist.
welc
oder
einzu
sind.
I
vern
zeich
zu e
50 8

halten also nicht bloße Fläche, sondern körperlichen Inhalt, und ergaben sich als Kügelchen. Ihre Größe kam vollkommen überein mit der der Kügelchen in der Steinmeteoritengruppe von *Benares*, theils eine Linie im Durchmesser, wie die Steinhügelchen etwa in *Pultawa*, *Nanjemoy*, *Ausson*, theils abwärts kleiner bis zu Vanillekörnern. Sie machten sich bemerklich auf mit Säure geätzten Flächen durch unangegriffen behaupteten Metallglanz und ungetrübbte blanke Politur. Ihre Farbe war nicht rothgelb angelauten, etwa wie Tānit, sondern war bläulich helles Eisen grau, wie Glanzeisen, (Lambricit). Unter der Lupe war keine Textur, sondern nur spiegelblankes Metall zu erkennen. Noch waren sie mit einem weissen Kreise, wie mit einer Haut umfassen und saßen fest im Eisen, so daß an ein Losmachen nicht zu denken war.

Ich sah diese Kügelchen auf *Durango*, deren 9 im Füll-eisen befindlich, dann auf zwei Stücken *Schwetzs*, auf denen ich 18 zählte, weiter in *Xiquipilco* 9, sämmtlich gegen den Rand hin, in *Hazuquilla* 2 bis 3 sehr kleine und, etwas abgeändert in *Orangefluß*, endlich zahlreich in *Seeläsgen*, also in sechs verschiedenen Meteoriten.

Dem äußern Ansehen nach bin ich versucht, diese Kügelchen für Glanzeisen (Lambricit) zu halten. Zu dieser Ansicht führen mich der Widerstand, den sie den verdünnten Säuren entgegensetzen, der blanke starke Glanz und die Farbe, welche sehr licht ist und dabei ins Bläuliche hinüberzieht, ganz so wie das beim Lambricit überall der Fall ist. Dazu kommt noch, daß ich gerade in den Meteoriten, welche Eisenkügelchen enthalten, anderen Lambricit gar nicht, oder nur sehr sparsam gesehen habe, sie somit seine Stelle einzunehmen scheinen und um so wahrscheinlicher selber sind.

Dies Wenige ist Alles, was ich hierüber zu berichten vermag. Aber es ist genug, um die Erscheinung zu bezeichnen und sie der Aufmerksamkeit künftiger Forscher zu empfehlen. Sollten unter den Umständen, unter welchen so schöne runde Steinkügelchen sich bildeten, auch Eisen-

kügelchen haben entstehen können? Bevor der Gegenstand umfassenderen Untersuchungen unterworfen worden seyn wird, ist es unstatthaft, auch nur Muthmaßungen zu äußern.

Der Mohr, *moiré métallique*.

Ziemlich häufig begegnet man beim Anätzen blanker Meteoreisenflächen der eigenthümlichen Erscheinung, die man in Frankreich *moiré métallique* nennt, und für welche wir kein gutes deutsches Wort haben; man hat sich mit den Ausdrücken »gewässert, geflammt, damascirt« beholfen, alles wenig passend. Das Wort »Mohr,« das man mitunter dafür gebraucht, knüpft an keinen verwandten Begriff an und ist wohl nichts anderes, als das übel übertragene Wort *moiré*, und »Schiller« bedeutet mehr Farbenwechsel als Glanzwechsel; Opal, Käserflügeldecken, Colibris schillern, sind aber nicht moirirt.

Man findet sie überall da, wo das Eisen deutlich in Körnchen abgesondert erscheint, wie ich dessen früher schon bei *Cosby* und andern Meteoriten Erwähnung gethan habe. Diese Körnchen zeigen sich nach dem Ätzen unterm Mikroskope schraffirt und zwar jedes einzeln nach seiner eigenen Richtung. Sie bestehen also aus Balkeneisen, (Kamacit), denn kein anderer näherer Bestandtheil des Meteoreisens besitzt Schraffirung. Indem diese nun in jedem Körnchenindividuum nach einer anderen Richtung gewendet ist, entsteht ein verschiedener Glanz, der bald stark ist, bald schwach wird, bald ganz verschwindet, je nachdem man das Licht darauf einfallen läßt und das Auge wendet. Diefs giebt dann das Wechselleuchten, den Wechselflimmer, das *moiré métallique*.

Man sieht diesen Eisenmohr ganz im Kleinen beginnen, so äußerst klein, das das Auge die einzelnen leuchtenden und matten Flimmer nicht mehr zu unterscheiden vermag, sieht dann die blank polirte Metallfläche nur in eine allgemeine sammetähnliche Trübe übergehen. So fand ich es auf *Charlotte, Texas, Carthago, Lockport, Nebraska, Burlington,*

Louvi
von
nega
Sene
ster,
cam
lich
einen
N
der
welch
word
Wen
die
mit
waren
brach
ken
sichtl
cuma
daran
Bewe
lich
nicht
auch
bei
Art
masse
feines
zum
einem
webe
nern
sprün
Und
sprün
also

Louisiana. Besser entwickelt ist er in meinen Exemplaren von *Durango*, *Lenarto*, *Agram*, *Löwenflufs*, *Tucuman*, *Senegal*; deutlich schon zeigt sich der Mohr auf *Elbogen*, *Seneca*, *Asheville*, *Misteca*, *Ruff*; sofort auf *Zacatecas*, *Chester*, *Caille*, *Bohumiliz*, dann auf *Pallas*, *Brahin* und *Atacama*, noch stärker auf *Sarepta*, *Sevier*, *Cosby*, und endlich in der größten Ausbildung auf *Cabaja*, wo die Körner einen Durchmesser von mehr als Liniengröße erreichen.

Nicht selten hatte ich Gelegenheit zu bemerken, daß der Mohr sich gern auf jenen Eisenmeteoriten einstellt, welche zuvor mehr oder minder im Schmiedfeuer mißhandelt worden sind. Verdächtig sind dessen viele Amerikaner. Wenn es den Leuten dort an Schneidewerkzeug mangelte, die Eisenmassen zu zertheilen, so halfen sie sich kurzweg mit dem Feuer. Viele von dort kommende Eisenmassen waren glühend gemacht und dann unter den Hammer gebracht worden, wo sie dann barsten und in beliebige Brocken zertrümmert werden konnten. Solches Schicksal haben sichtlich erlitten *Burlington*, *Misteca*, *Sevier*, *Louisiana*, *Tucuman* und *Senegal*, vielleicht auch *Ruff* und *Chester*. Wer daran zweifeln sollte, den kann ich mit einem sprechenden Beweise zur Ueberzeugung bringen. *Hauptmannsdorf* nämlich ist eine Eisenmasse, von der wir gewiß wissen, daß sie nicht im Schmiedheerde sich befand. Dieser Meteorit ist auch gänzlich ohne Mohr auf allen seinen Schnitten. Allein bei genauer Betrachtung bemerkte ich, daß er mit einer Art von Rand umsäumt ist, welcher eine von der Hauptmasse verschiedene Textur zeigt. Diese hat bekanntlich feines liniirtes blätteriges Gefüge, welches aber nicht bis zum Rande fortsetzt, sondern eine Linie zuvor endigt und einem körnigen Gewebe Platz macht. Dieses körnige Gewebe zeigt sich aber nicht auf den Schnittträgern im Innern des Eisens, sondern nur an denen, welche die ursprüngliche natürliche Außenfläche des Meteoriten begrenzen. Und hier ist es, gewiß merkwürdig, — moirirt. Der ursprüngliche *Hauptmannsdorf*, wie er vom Himmel fiel, hat also einen Mantel mitgebracht, der ohne alles blätterigo

Gefüge, rein aus Mohr besteht. Und nicht nur an meinen Exemplaren sieht man dies, sondern es findet sich sogar abgebildet in den Abdrücken, welche vor etwa 20 Jahren Partsch davon machen liefs und die zahlreich vertheilt wurden, auch in den Mittheilungen von Hrn. Haidinger vorkommen. Darauf sieht man mit voller Deutlichkeit den körnigen moirirten Saum entlang der Gränze der Aufsenfläche laufen, während er da überall fehlt, wo die Schnitte im Innern des Eisens geführt sind. Die Ursache hiervon ist leicht aufzufinden. Indem der Meteorit im heftigsten Feuer die Atmosphäre durchflog, ward er auf seiner Oberfläche, auf welcher er brannte und Schlacke erzeugte, so heifs, dafs das natürliche liniirte Gefüge auf eine Linie tief umgeändert und ins Körnige übergeführt wurde, dies also gerade so in freier Naturthätigkeit, wie es unsere amerikanische Schmiede künstlich bewirken. Hier wurden die ganzen Eisenmassen in Gluthhitze gesetzt, der Körper mithin durch und durch zur mohrigen Körnung gebracht, dort in Hauptmannsdorf wiederfuhr Gluth nur auf der Oberfläche bis auf eine Linie tief dem Eisen, und dann erlangte der Meteorit auch nur auf eine Linie tiefe Körnung und Moiré. Die Erhitzung also ist es, welche der Bildung des Mohrs günstig ist und oftmals ganz allein die Ursache seiner Erscheinung ausmacht.

Das Vorkommen des Mohrs habe ich im Wesentlichen nur im Balkeneisen (Kamacit) beobachtet. In selteneren Fällen und weniger deutlich fand ich es im Fülleisen (Plessit), namentlich in *Seneca*, *Ruff* und in *Misteca*. In vielen Meteoriten sieht man das Balkeneisen ganz voll, dagegen das Fülleisen ganz leer daran; niemals aber sieht man es im Bandeisen oder sonst wo; *Cap*, *Claiborne*, *Arwa* sind gänzlich frei. Sein eigentlicher Sitz ist im Balkeneisen.

X.

Von glaubt Muste Diese das I Verbr Kaleid gemac hat m und d gelung Weise Comb theilen worde

Da welche möcht einfac läfst in der die Z germa so da Urthei Da eines zwar Ei Durch noch 1) Gi

X. *Das Typoskop; von Prof. Dr. Emsmann
zu Stettin.*

Von dem 1817 von Brewster erfundenen Kaleidoskop ¹⁾ glaubte man anfänglich, daß es sich bei Entwürfen von Mustern von besonders praktischem Nutzen erweisen werde. Diese Erwartung ist nicht in Erfüllung gegangen, sondern das Instrument hat eigentlich nur als beliebtes Spielzeug Verbreitung gefunden. Einen Hauptvorwurf, den man dem Kaleidoskope in Betreff seiner praktischen Verwerthung gemacht hat und der allerdings vollkommen begründet ist, hat man daher genommen, daß sich nur Sterne abbilden und deren Wiederholung ermüdend wirkt. Es ist mir nun gelungen, diesem Mangel an Mannichfaltigkeit auf leichte Weise abzuhelfen, und ich stehe nicht an, die einfache Combination, durch welche dieses möglich wird, hier mitzutheilen, weil mir nicht bekannt, daß sie bereits versucht worden sey.

Das Instrument, welches ich zusammengestellt habe und welchem ich den Namen *Typoskop* (Musterzeiger) beilegen möchte, bietet eine überraschende Mannichfaltigkeit von den einfachsten bis zu den zusammengesetztesten Mustern; ferner läßt sich sofort übersehen, welchen Eindruck das Muster in der Zusammenstellung machen wird, und außerdem kann die Zusammenstellung der einzelnen Bilder auch noch einigermassen abgeändert werden, ohne die Bilder zu stören, so daß man über die vortheilhafteste Anordnung sofort ein Urtheil gewinnt.

Das *Typoskop* ist nichts weiter als eine Combination eines Kaleidoskopes und eines polyëdrischen Glases und zwar in folgender Weise.

Ein Kaleidoskop von etwa 5 Zoll Länge und $1\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser bleibt an seinem Ocularende offen und erhält noch ein das Rohr umfassendes und an demselben ver-

1) Gilb. Ann. Bd. LIX, S. 347.

schiebbares und drehbares Auszugsrohr von 6 bis 8 Zoll Länge, welches an der Kaleidoskopröhre anschliesst, nach dem Ocularende aber sich etwas erweitert, um dort ein polyëdrisches Glas in einer etwa 2 Zoll nach dem Auge zu sich etwas erweiternden Fassung aufnehmen zu können. Der Objectivbehälter ist leicht zu öffnen, indem sich das mattgeschliffene Glas mit seiner Fassung wie ein Schachteldeckel abnehmen lässt.

Diese Einrichtung bietet folgende Vortheile. Erstens kann man die Objecte leicht beliebig nach Zahl und Art abändern, je nachdem man einfachere oder zusammengesetztere Muster zu erhalten wünscht. Zweitens kann man das Kaleidoskop drehen, ohne das polyëdrische Glas in eine andere Lage zu bringen. Drittens lässt sich das polyëdrische Glas entweder allein, oder zugleich mit seinem Rohre, je nachdem es in diesem drehbar oder fest ist, drehen, ohne das Kaleidoskop zu bewegen und das Muster zu stören, wobei die Gruppierung der Bilder sich ändert. Viertens lässt sich das Rohr mit dem polyëdrischen Glase auf dem Kaleidoskope verschieben, wodurch man die das Muster bildenden Bilder einander näher rücken oder von einander entfernen kann.

Am zweckmässigsten hat sich das Typoskop mit drei unter 60° geneigten Spiegeln herausgestellt; ausserdem sind besonders für einfache Muster Typoskope mit zwei unter 45° oder 36° geneigten Spiegeln empfehlenswerth. Noch kleinere Winkel geben ein zu kleines Gesichtsfeld. Für Musterzeichner dürfte ein Apparat mit Kaleidoskopen von 60° , 45° und 36° , welche zu demselben Rohre für das polyëdrische Glas passen, das vortheilhafteste seyn. Das polyëdrische Glas kann aus weissem, aber auch aus farbigem Glase geschliffen seyn. Grünes Glas ist unbrauchbar; gelbes und hellblaues wirkt besonders günstig. Es empfiehlt sich, für dasselbe Typoskop verschiedene polyëdrische Gläser zu besitzen. Als Objecte wähle man kleine Körper von farbigem Glase, sowohl eckige, als vor der Stichflamme in verschiedene Formen gezogene, ferner aus durch und

durch gefärbtem Papiere oder aus gefärbter Hausenblase geschnittene Stücken in runder, zackiger und in Sförmiger Gestalt, ferner die äußerste Spitze einer Vogelfeder und dergleichen.

Die große Mannichfaltigkeit der Muster rührt daher, daß man nicht den ganzen Stern, welcher sich im Kaleidoskope bildet, übersieht, sondern nur eine Zacke desselben, die eben von der verschiedenartigsten Form seyn kann. Deshalb ist es gut, das Auge nicht sowohl senkrecht auf die Mitte des polyëdrischen Glases zu richten, sondern mehr schräg durch dasselbe zu sehen. Ist ein Stern aus nur wenigen Objecten entstanden, so kann man auch diesen als Musterbild ins Auge fassen.

**XI. Ueber die Wirkung plötzlicher bedeutender Temperaturveränderungen auf die Pflanzenwelt;
von H. Karsten.**

Ohne Zweifel wird es von allen Physiologen jetzt anerkannt, daß die Gewebe gewisser Pflanzen vollkommen gefrieren können ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüßen, wogegen bisher die Thatsache, daß der Kältegrad, welcher eine Pflanze tödtet, nach Umständen ein verschiedener seyn kann, von denselben bisher nicht so beachtet wurde wie sie es verdient.

An die nachtheiligen Wirkungen plötzlich eintretender großer Temperaturwechsel auf die lebenden Pflanzen zweifelt kein Praktiker; alle haben Aehnliches beobachtet, nur ist ihnen die Art der Wirkung bisher nicht klar geworden. Jeder Gärtner weiß es, daß besonders diejenigen gefrorenen Pflanzen dem Verderben ausgesetzt sind, die in diesem Zustande von den Sonnenstrahlen getroffen werden, während die im Schatten allmählich aufthauenden leichter die-

selben Verhältnisse ertragen. Im Riesengebirge bedecken die Bauern die durch einen frühzeitig eingetretenen Nachtfrost gefrorenen Georginen ihres Gärtchens Morgens vor Sonnenaufgang mit einem Korbe, wodurch sie dieselben aus dem Erstarrungszustande dem Leben zurückgeben, während die von der Sonne erwärmten dem Tode verfallen. Die Hausfrau legt ihre erfrorenen Aepfel in kaltes Wasser, welches diese vor raschem Verderben schützt, indem die physikalische Constitution ihre Zellenwände erst durch plötzliches Aufthauen in der Art verändert wird, daß die chemischen Verwandtschaftskräfte des Sauerstoffs der Atmosphäre mit der Pflanzensubstanz ungehindert in Thätigkeit treten können.

Die stärkere Abkühlung durch Ausstrahlung gegen den Himmelsraum, die wir besonders durch Wells kennen lernten, wirkt sicher nicht so schädlich auf eine freistehende Pflanze wie die mit diesem Standorte verbundene plötzliche Abkühlung durch Verdunstungskälte und die plötzliche Erwärmung durch die Strahlen der März- und April-Sonne. Der Rauch, den schon Plinius (*hist. nat. libr. XXIII, cap. 70*) als Ersatz der Wolken und des Windes gegen Thau und Nebel empfiehlt, wirkt sicher um so vortheilhafter, wenn er bis nach Sonnenaufgang unterhalten wird. Er mäßigt dann nicht nur die Wärmeausstrahlung, sondern verhindert auch die plötzliche Einwirkung der Sonne auf bethaute oder gefrorene Pflanzen.

Die Bewohner der Hochthäler der Cordilleren schützen durch Rauchwolken, die sie durch Verbrennen von feuchtem Stroh und Dünger erzeugen, ihre Mais- und Weizen-Ernten, nicht sowohl vor der nächtlichen Ausstrahlung, wie Boussingault meint, als gegen Morgen besonders vor der zu plötzlichen Erwärmung der abgekühlten und etwa bethauten Pflanzen durch die Sonne. Denn wegen der erwärmenden Wirkung der Strahlen der höher stehenden Sonne wirkt der Frost in den Thälern viel nachtheiliger als auf den Höhen und nicht wegen stärkerer Ausstrahlung an ersteren Orten, die hier sicher nicht größer ist als auf

den Höhen, wie Wells angiebt, sondern geringer. Aus gleichem Grunde sind die an der Westseite einer Mauer, eines Gebäudes, einer Baumallee wachsenden Pflanzen mehr gefährdet als die an der Ostseite, wo sie allmählich von der aufgehenden Sonne erwärmt werden können¹⁾.

Schon Thouin rath diejenigen Pflanzen, welche dem Nachtfroste ausgesetzt und etwa gefroren waren, dadurch zu retten, dafs man sie vor Sonnenaufgang in den Schatten an einen nur wenige Grade erwärmten Ort bringt, um sie allmählich aufthauen zu lassen oder wenn diefs nicht angeht, sie mit eiskaltem Wasser zu begiefsen, sobald sie von den ersten Sonnenstrahlen getroffen werden. (*Observations sur l'effet des gelées précoces. Ann. du Mus. d'hist. nat. VII., p. 8.*)

Aehnliche Ansichten sprechen Lindley (*Transact. hort. soc. 2. ser. vol. II, p. 225*) und Decandolle (*Physiologie vegetal*) aus. Aus einer an Baumfarrn gemachten Erfahrung, die ich in der botanischen Zeitung Jahrgang 19, S. 289 mittheilte, wird es ersichtlich, dafs selbst tropische Pflanzen, welche in ihrem Vaterlande nur während der Nacht zuweilen auf kurze Zeit unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden, eine Temperatur von -20° auf längere Zeit ertragen und durch dieselbe gefrieren können, ohne ihr Leben einzubüfsen, wenn sie vorsichtig sehr allmählich aufgethaut werden.

Dafs überdiefs von der Beschaffenheit und dem Concentrationsgrade des Zellsaftes die Temperatur abhängig ist, welche ein Pflanzengewebe gefrieren macht, dafür sprechen schon Göppert (Ueber die Wärmeentwicklung in den Pflanzen) und Nägeli (Sitzungsbericht der bayer. Acad. der Wissensch. 1861).

Diefs Alles weist darauf hin: *dafs plötzliche grosse Schwankungen der Temperatur den Pflanzen schädlich sind und sie krank machen oder tödten können, auch bei den die*

1) H. Karsten, Ueber Pflanzenkrankheiten, Vochenschrift des Vereines zur Beförderung des Gartenbaues in den königl. preussischen Staaten. 1861, No. 16.

Gesundheit und das Leben derselben an und für sich nicht gefährdenden Temperaturgraden; sowie andererseits, daß die Extreme der für eine Pflanzenart gesetzmäßigen Temperatur ohne Nachtheil für deren Gesundheit überschritten werden können, wenn die Pflanzen allmählich ihnen ausgesetzt werden.

Die gleichen Ursachen gaben zu einer Erscheinung Veranlassung, die im nördlichen Deutschland im vergangenen Frühjahr an den vorzeitig entwickelten Blättern von *Aesculus Hippocastanum* sich zeigte, worauf Herr Professor Braun aufmerksam machte. (Monatsber. der Acad. der Wissensch. in Berlin 1861 Juli.)

Zum Verständniß der Entstehung dieser verkümmerten, oft sehr zierlich fiederschnittigen, ja selbst doppelt fiederschnittigen Formen der Blättchen des gefingerten Blattes ist es nothwendig nicht zu übersehen, daß sie nur an den dem Winde ausgesetzten Zweigen sich finden und zwar daß von diesen nur die oberen in dieser Weise geformt waren, während die unteren ebenso wie die an geschützten Bäumen oder Zweigen befindlichen Blätter sich normal entwickelt hatten, indem daraus ersichtlich ist, daß nicht die Temperaturerniedrigung der Luft allein das Parenchym der halbentfalteten Blätter tödtete, wie der Hr. Prof. Braun dieß annimmt, sondern daß die Ausstrahlungs- und Verdunstungskälte in Vereinigung mit der raschen Erwärmung der gefrorenen Blätter durch die auf sie fallenden Strahlen der April-Sonne dieß veranlaßte.

Am 24. April dem dießjährigen kältesten Tage in Berlin für die Entwicklungsperiode dieser Blätter folgte auf eine Nacht, in der die Lufttemperatur bei heiterem Himmel und trockenem starkem Nord-Ostwinde bis auf $-2^{\circ},3$ herabgesunken war, ein sonniger Morgen, an dem der Wind mit gleicher Stärke aber aus SW mit Feuchtigkeit beladen fort dauerte und Nachmittags Regen aus W herbeiführte.

Dieser bedeutende und rasche Wechsel der Temperaturverhältnisse des vorzeitig entfalteten Zellgewebes, der sich

am 8. Mai noch einmal wiederholte, wirkte störend auf die Entfaltung der Blätter und Blumen ein.

Wäre es die erniedrigte Temperatur der Atmosphäre allein gewesen, welche die Blätter erfrieren machte, so würden alle auf gleicher Entwicklungsstufe befindlichen erfroren seyn; wäre es die Verdunstungskälte allein gewesen, so würden auch die Blätter der unteren durch die oberen bedeckten Zweige, welche dem Winde ausgesetzt waren, ebenso erfroren seyn wie jene; dieß war beides nicht der Fall, nur die dem freien Himmelsraume ausgesetzten Blätter waren vorzugsweise verändert; diejenigen also, die dem Wärmeverluste durch Verdunstungskälte und ebenso der durch Ausstrahlung und der darauf folgenden Insolation ausgesetzt waren. Vielleicht würden auch diese Blätter, wenn sie nach dem Gefrieren vor der plötzlichen Erwärmung geschützt worden wären, ebenso wie die oben erwähnten Georginen etc. die Wirkung des Frostes allein überstanden haben, falls dieser allmählich eintrat.

Sehr bemerkenswerth ist es ferner, daß nur die beiden unteren Blattpaare der Frühlingstriebe es sind, die auf diese Weise gelitten haben, diejenigen Blätter nämlich, deren Parenchym zu jener Zeit bis zur theilweisen Entfaltung entwickelt war. Die oberen damals noch dem cambialen Zustande näheren Blätter blieben von der nachtheiligen Einwirkung des Frostes unberührt.

Auch dieß interessante Verhältniß ist dem Hrn. Prof. Braun entgangen, obgleich es das schon von Göppert aufgestellte, für Dicotylen nach diesem sorgfältigen Beobachter allgemein gültige Gesetz bestätigt, daß an ein und derselben Pflanze die jüngeren Blätter und Triebe länger der Einwirkung allmählich eintretender Kälte widerstehen, als die älteren und daß dem entsprechend nach Frühlingsfrösten die inneren Theile der Knospen noch leben, während die äußeren getödtet sind.

Die Erklärung dieser Erscheinung an den Blättern von *Aesculus*, wie es geschah, darin zu suchen, daß an den halbentfalteten Blättern die jüngsten, zartesten Theile dem

Froste erlegen seyen, schließt zwei Irrthümer in sich: denn erstens tödtete der Frost hier nicht das in diesem Entwicklungszustande der metamorphosirten Blätter nur die Nerven und die Adern begleitende Cambium, sondern vielmehr das parenchymatische Zellgewebe und zweitens gefriert nicht das jüngste mit concentrirten Flüssigkeiten gefüllte Zellgewebe zuerst, sondern das schon entwickelte, mehr wässrige Säfte enthaltende Parenchym.

Interessant ist dieser Fall, weil auch er beweist, daß wir die Bedingungen, unter denen ein in einem bestimmten Entwicklungszustande befindliches Gewebe dem Froste unterliegt, nicht durch die einfache Beobachtung der Lufttemperatur kennen lernen, daß dazu vielmehr oft nicht nur die Summe der Verdunstungs- und Ausstrahlungskälte mit derselben, sondern die Differenz dieser Summe mit der Insolationstemperatur nothwendig sind.

Um also eine vollständige Kenntniß der Wechselwirkung der Temperaturverhältnisse auf die Lebensvorgänge der Pflanze (und ohne Zweifel auch der Thiere) zu erhalten, ist die einfache Beobachtung der Maximum- und Minimum-Temperatur im Schatten nicht ausreichend: es sind überdies dazu nicht nur auch die der Ausstrahlungskälte, der Verdunstungskälte und des Thaupunktes, sondern auch die Beobachtung des Maximum in der Sonne nothwendig und zwar müssen alle diese Beobachtungen, wenn sie ein annähernd genaues Resultat geben sollen, mit Berücksichtigung der Oberflächenverhältnisse des Pflanzengewebes angestellt werden.

Die Beobachtung der Temperaturverhältnisse der Pflanze ist eine sehr schwierige Aufgabe, weil die Pflanze nicht nur durch die Ausstrahlung, sondern auch durch die Verdunstung, die Thaupunkte und die Ausstrahlung der Luft, die sie umgibt, in der Lage ist, die Temperatur zu reguliren und das, was man beobachtet, ist nicht die wirkliche Temperatur der Pflanze, sondern die Temperatur der Luft, die sie umgibt. Die Beobachtung der Temperaturverhältnisse der Pflanze ist eine sehr schwierige Aufgabe, weil die Pflanze nicht nur durch die Ausstrahlung, sondern auch durch die Verdunstung, die Thaupunkte und die Ausstrahlung der Luft, die sie umgibt, in der Lage ist, die Temperatur zu reguliren und das, was man beobachtet, ist nicht die wirkliche Temperatur der Pflanze, sondern die Temperatur der Luft, die sie umgibt.

D
Stie
Rac
Am
ang
rige
noc
zur
sich
die
und
usw
dem
sich
thei
ern
an
nich
ents
sam
Diac
Kör
Aton
Rad
eine
und

XII. Ueber dem Ammoniaktypus angehörige organische Säuren; von W. Heintz.

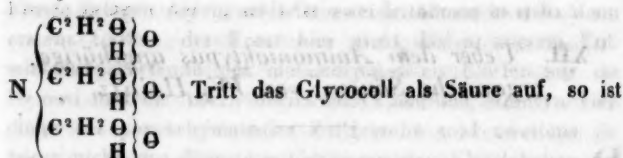
Die stickstoffhaltigen organischen Säuren, in denen der Stickstoff sich nicht in Form eines Sauerstoff enthaltenden Radicals befindet, hat man bis jetzt ziemlich allgemein dem Ammoniumoxydhydrattypus entsprechend zusammengesetzt angesehen. Die Ansicht, daß dem Ammoniaktypus angehörige Substanzen auch Säuren seyn können, hat dagegen noch wenig Glauben gefunden. Hr. Heintz hat es sich zur Aufgabe gemacht, den Beweis zu führen, daß diese Ansicht dennoch gerechtfertigt ist.

Schon bei einer früheren Gelegenheit hat Hr. Heintz die Meinung zu begründen versucht, daß das Glycocoll und natürlich auch seine Homologen, das Alanin, Leucin usw., obgleich sie Verbindungen mit Basen bilden können, dem Ammoniaktypus anzureihende Körper sind, eine Ansicht, die bis jetzt wohl nur von wenigen Chemikern getheilt wird.

Neuerdings sind aber durch Hrn. Heintz Thatsachen ermittelt, welche dieselbe in einer Weise feststellen, daß an der Existenz dem Ammoniaktypus zuzuzählender Säuren nicht mehr gezweifelt werden kann. Er hat nämlich zwei entschieden saure Körper dargestellt, die sich in ihrer Zusammensetzung zu dem Glycocoll so verhalten, wie das Diaethylamin und Triäthylamin zu dem Äthylamin. Diese Körper sind nämlich Ammoniake, in denen zwei oder drei Atome Wasserstoff durch zwei oder drei Atome desjenigen Radicals ersetzt sind, welches in dem Glycocoll an Stelle eines Atoms Wasserstoff des Ammoniaktypus getreten ist.

Die empirischen Formeln dieser Körper sind $C^2H^7NO^4$ und $C^3H^9NO^6$, und die rationellen N

$$\left\{ \begin{array}{c} C^2H^2O \\ H \\ C^2H^2O \\ H \end{array} \right\} O \quad \text{und} \quad \left\{ \begin{array}{c} C^3H^2O \\ H \\ C^3H^2O \\ H \end{array} \right\} O$$



es einbasisch, weil es nur ein Atom des typischen Radicals $C^2 H^2 \Theta \left\{ \begin{array}{l} H \end{array} \right\} \Theta$ enthält. In diesen neuen Körpern finden sich dagegen zwei und drei Atome desselben. Sie sind daher zwei- und dreibasisch, wie aus den mit ihnen angestellten Versuchen geschlossen werden kann.

Hr. Heintz nennt diese Körper Diglycolamidsäure und Triglycolamidsäure, weil sie zwei- und dreimal das Radical Glycolyl enthalten, weil sie wahre Säuren sind, und doch nicht, wie die Aminsäuren, dem Ammoniumoxydhydrattypus, sondern wie die Amide (Acetamid etc.) dem Ammoniaktypus angehören.

Als eine Folgerung aus den Resultaten dieser Untersuchung ergibt sich auch eine einfache Deutung der Natur einer schon längst bekannten Säure, die man bisher meist für eine Aminsäure gehalten hat, der Hippursäure. Auch sie ist ein Ammoniak, worin ein Atom Wasserstoff durch das Radical $C^2 H^2 \Theta \left\{ \begin{array}{l} H \end{array} \right\} \Theta$, ein zweites durch Benzoyl ver-

treten ist. Die Formel derselben ist also $N \left\{ \begin{array}{l} C^2 H^2 \Theta \\ H \end{array} \right\} \Theta \left\{ \begin{array}{l} C^2 H^2 \Theta \\ H \end{array} \right\} \Theta$.

Alle chemischen Eigenschaften der Hippursäure lassen sich auf diese Formel leicht zurückführen.

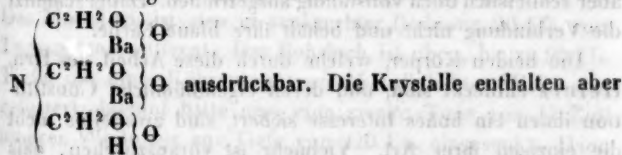
Die beiden Körper, aus deren Constitution die in den bisherigen enthaltenen Folgerungen gezogen werden können, entstehen bei der Einwirkung des wässrigen Ammoniaks auf Monochloressigsäure in der Kochhitze. Nebenbei bildet sich auch etwas Glycolsäure und, wie es scheint, auch eine geringe Menge Glycocoll. Folgende Gleichungen stellen die Bildungsweise dieser Körper dar:

- I. $\text{C}^2\text{H}^3\text{ClO}^2 + \text{NH}^3 + \text{H}^2\text{O} = \text{C}^2\text{H}^4\text{O}^3 + (\text{NH}^4)\text{Cl}$
 II. $\text{C}^2\text{H}^3\text{ClO}^2 + 2\text{NH}^3 = \text{C}^2\text{H}^5\text{NO}^2 + (\text{NH}^4)\text{Cl}$
 III. $2(\text{C}^2\text{H}^3\text{ClO}^2) + 3\text{NH}^3 = \text{C}^4\text{H}^7\text{NO}^4 + 2(\text{NH}^4)\text{Cl}$
 IV. $3(\text{C}^2\text{H}^3\text{ClO}^2) + 4\text{NH}^3 = \text{C}^6\text{H}^9\text{NO}^6 + 3(\text{NH}^4)\text{Cl}$

Die Scheidung dieser Körper beruht auf dem Umstande, daß die triglycolamidsaure Kalkerde in *kochendem* Wasser sehr schwer, die diglycolamid- und glycolsäure leicht löslich sind, daß letztere in kaltem Wasser sehr schwer löslich ist, die diglycolamidsaure Kalkerde aber nicht, und daß endlich das diglycolamidsaure Kupferoxyd sehr schwer löslich ist.

Die Krystalle der Triglycolamidsäure sind kleine farblose, wasserklare, in Wasser sehr schwer lösliche Prismen, die kein Krystallwasser enthalten, in der Hitze stark verknistern, sich bräunen und schwärzen unter Entwicklung des Geruchs, den stickstoffhaltige Körper in der Hitze auszustoßen pflegen. Ihre Lösung in wässrigem Ammoniak giebt mit Chlorbaryum einen krystallinischen, in Wasser schwer löslichen Niederschlag.

Von dieser Säure hat Hr. Heintz das zweibasische Barytsalz dargestellt, das aus rhombischen Prismen mit Winkeln von $73^\circ 30'$ und $106^\circ 30'$ besteht. Seine Zusammensetzung ist durch die Formel $\text{C}^6\text{H}^7\text{Ba}^2\text{NO}^6$ oder



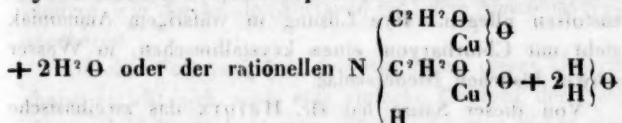
noch 7,5 bis 7,6 Proc. Wasser. Ihre empirische Formel ist daher $2(\text{C}^6\text{H}^7\text{Ba}^2\text{NO}^6) + 3\text{H}^2\text{O}$.

In einem Silbersalz fand Hr. Heintz 60,25 Proc. Silber. Ein Silbersalz von der Formel $\text{C}^6\text{H}^6\text{Ag}^3\text{NO}^6$ enthält 63,28 Proc. Silber, während das zweibasische, dem erwähnten Barytsalz entsprechende, 53,33 Proc. Silber enthalten würde. Daß bei Darstellung dieses Salzes nicht die reine dreibasische Verbindung entstand, erklärt sich daraus, daß ein sauer reagirendes Ammoniaksalz zur Gewinnung desselben gedient

hatte. Daraus aber, daß unter diesen Umständen eine so silberreiche Verbindung erhalten wurde, folgt, daß die Triglycolamidsäure basischere Salze zu bilden im Stande ist, als das erwähnte Barytsalz. Kaum möchte es noch zweifelhaft seyn, daß sie dreibasisch sey. Hr. Heintz behält sich vor, dieß vollkommen festzustellen, sobald ihm mehr von diesem Körper zu Gebote stehen wird.

Die Diglycolamidsäure bildet größere deutlich ausgebildete, wasserklare Krystalle, die kein Krystallwasser enthalten, in der Wärme schmelzen, unter Blasenwerfen sich bräunen, indem sie den Geruch durch Hitze sich zersetzender stickstoffhaltiger Körper entwickeln. In Wasser sind sie leichter löslich als Triglycolamidsäure, schwerer als Glycocol.

Das Kupfersalz dieser Säure ist tief blau gefärbt, enthält Krystallwasser und ist der empirischen Formel $C^4H^5Cu^2NO^4$



gemäß zusammengesetzt. Das Krystallwasser wird bei 100° bis 110° C. und selbst bei 140° bis 150° C. nur langsam, aber schließlic doch vollständig ausgetrieben. Dabei schmilzt die Verbindung nicht und behält ihre blaue Farbe.

Die beiden Körper, welche durch diese Arbeit des Hrn. Heintz entdeckt sind, und deren eigenthümliche Constitution ihnen ein hohes Interesse sichert, sind zweifellos nicht die einzigen ihrer Art. Vielmehr ist vorauszusehen, daß die Monochlorpropion-, die Monochlorbuttersäure, überhaupt die ganze Reihe der monochlorirten Säuren der Ameisensäurereihe bei ihrer Umsetzung durch wäßriges Ammoniak analoge Verbindungen liefern werden. Aber nicht bloß diese Säurereihe, sondern auch die der Benzoësäure liefert monochlorirte Säuren, bei denen eine analoge Zersetzungsweise zu erwarten ist. Genug, von allen einbasischen Säuren ist vorauszusehen, daß monochlorirte Derivate derselben und

aus diesen durch Ammoniak, der Diglycolamid- und Triglycolamidsäure analoge Verbindungen werden dargestellt werden.

So ist durch diese Untersuchung der Weg zur Entdeckung ganzer Reihen neuer interessanter Körper eröffnet.

XIII. *Der grofse intermittirende Wassersprudel zu Bad Neuenahr an der Ahr.*

(Eine Mittheilung des Gch. Ober-Bergraths Nöggerath in der Kölnischen Zeitung.)

Zur Vermehrung der Mineralwasserquellen und in der Hoffnung, eine solche von noch höherer Temperatur zu erhalten, als die bisher bei diesem Bade vorhandenen, hatte man ein Bohrloch von 286 Ffs. Tiefe niedergestofsen. Damit waren Wasserzuflüsse von nach der Tiefe immer höherer Temperatur erreicht worden; die höchste Temperatur betrug nach den Bohrregistern 35° R. Das Bohrloch steht in einem 12 Ffs. im Gevierte messenden gezimmerten Schachte von 16 Ffs. Tiefe, auf dessen Grunde noch ein rundes Bassin von 4 Ffs. Tiefe und 6 Ffs. innerer Weite eingemauert ist. Das Mundloch ist also in senkrechter Richtung 20 Ffs. vom Tagesniveau entfernt. Das Bohrloch ist oben, bis zu 90 Ffs. Tiefe, mit einer Röhrentour von 15 Zoll lichter Weite ausgefütert; hierauf hatte man eine zweite Tour von 11 Zoll innerer Weite bis zur Tiefe von 220 Ffs. eingesenkt. Dann war mit demselben Durchmesser von 11 Zoll das Loch noch 20 Ffs. tiefer ohne Röhren niedergebohrt, und endlich die letzten 46 Ffs. ebenfalls ohne Röhren, mit einer Weite von 8 Zoll.

Vom 10. December 1860 bis Anfangs Februar 1861 ruhte die Arbeit. Nun wollte man, um die äufseren Wasser, welche durch die Nieten der Röhren und am untern Ende der zweiten Tour eindringen, zurück zu halten, den oberen Theil des Bohrlochs mit Beton auskleiden, und warf des-

halb zunächst, um für den Beton eine feste Unterlage zu bekommen, Sand hinein, bis derselbe 110 Ffs. hoch über dem Tiefsten stand. Der Sand mußte, als die Verdichtung bewerkstelligt war, natürlich wieder herausgeholt werden, ehe man die Bohrarbeiten fortsetzen konnte. Bis zum 10. September 1861 waren 89 Ffs. herausgeschafft, also noch ein Sandkegel von 21 Ffs. Höhe im Tiefsten des Loches. Hier ward die Arbeit wieder sistirt, weil zunächst der Abfluscanal für die Quelle gebaut werden sollte. Dieser war eben fertig, als man gedachte, Montag den 7. October die Arbeiten am Bohrloche wieder aufzunehmen, als plötzlich Donnerstag den 3. October, Morgens gegen 9 Uhr, die unterirdischen Kräfte sich selber Luft machten. Die herbei eilenden Zuschauer fanden die Eruption, welche wahrscheinlich schon vor einiger Zeit begonnen, um 9 Uhr bereits im vollen Gange. Das Wasser im Schachte stieg fortwährend unter bedeutendem sprudelndem Wellenwerfen, und unmittelbar über dem Bohrloche erhoben sich unregelmäßig, bis zu einer Höhe von 3 Ffs. über dem Schachte, mächtige, Springbrunnen ähnliche Strahlen. Der Sand wurde natürlich zunächst mit aus dem Bohrloche in die Höhe geworfen, aber auch größere und bis faustdicke Stücke von Grauwackensandstein, welche wahrscheinlich in den unterirdischen Höhlen durch die Gewalt der drängenden Wasser- und Gasmassen losgerissen waren, flogen bis über den Rand des Schachtes. Ungefähr noch eine Stunde lang beobachteten die überraschten Zuschauer das neue großartige Phänomen, als es plötzlich, wie mit einem Zauberschlage, aufhörte. Aber schon um 11 Uhr zeigten sich die Vorboten einer neuen Eruption, nicht minder heftig als die erste, und seitdem haben sich dann bis zur Stunde in nicht ganz gleichen Perioden dieselben Erscheinungen wiederholt. Die Eruptionen selbst dauerten anderthalb bis zwei, die Zeiten der Ruhe zwei bis drei Stunden.

Als ich zur Stelle kam, am 8. October gegen 12 $\frac{1}{2}$ Uhr Mittags, hatte die letzte Eruption vor kaum einer halben Stunde geendet. Ruhig und klar stand das Wasser in dem

gemauerten Bassin auf dem Grunde des Schachtes. Ein Kreis von kleinen Gasbläschen, die an den Wänden der Röhre emporstiegen, bezeichnete die Lage derselben auf dem Wasserspiegel des Bassins, $1\frac{1}{2}$ Ffs. über dessen Grunde, und war die einzige Andeutung der in der Tiefe schlummernden Kräfte. Die Temperatur des Wassers im Bassin betrug 31° , 12 Ffs. tief im Bohrloche aber 32° R. Die Luft im Schachte war ganz erträglich, kaum merklich mit Kohlensäure geschwängert. Um $1\frac{1}{4}$ Uhr zeigte sich Vermehrung der aufsteigenden Gasblasen und die erste Bewegung auf dem Wasser. Es entstand ein schwacher Sprudel vom Centrum nach der Peripherie des Bassins, worin der Wasserspiegel zuerst nur äußerst langsam in die Höhe stieg. Um $2\frac{1}{2}$ Uhr war er 3 Zoll gewachsen, und die Bewegung des Wassers war ungefähr so stark, wie die der zunächst dem Kurhause gelegenen Quelle, welche den Namen »der große Sprudel« führt. Zwischen ihr und der neuerbohrten Quelle liegen noch drei andere; eine derselben, der Mariensprudel, zwanzig Schritt von der neuerbohrten gelegen, hat seit der ersten Eruption der letzteren ihre sonst heftig sprudelnde Thätigkeit eingestellt, die anderen beiden, die Trinkquellen Victoria und Augusta, zeigen sich auf eine merkwürdige Weise nur während der eigentlichen jedesmaligen Eruption von dem neuen Rivalen beherrscht. Sie liegen in gerader Richtung, ungefähr 70 Schritte entfernt, sind bei 83 resp. 86 Ffs. Tiefe erbohrt, haben aber eine niedrigere Temperatur, von 20 resp. 22° R. und nur geringen Sprudel. Beide waren noch in voller Thätigkeit, als der neue Sprudel schon gewaltig tobte. Nach $2\frac{1}{2}$ Uhr wurden die Bewegungen heftiger, der Gas- und Wasserzudrang merklich stärker. Der Wasserspiegel stieg mit zunehmender Geschwindigkeit. Um 2 Uhr 39 Min. stand er $30\frac{1}{2}$ Zoll hoch im Bassin, um 2 Uhr 42 Min. 34 Zoll, 2 Uhr 44 Min. 38 Zoll; das Wasser hatte $32\frac{1}{2}^{\circ}$ R. Um 2 Uhr 50 Min. mußte ich den Grund des Schachtes verlassen, weil das Wasser über Rand des Bassins trat; auch merkte man schon eine starke Ansammlung von kohlensaurem Gas. Von nun an nahmen die Erschei-

nungen einen immer großartigen Charakter an. Der weite Schacht, 12 Ffs. im Quadrat, füllte sich trotz seiner mangelhaften Verschalung und des 4 Ffs. hohen und 3 Ffs. breiten Abflusscanales immer mehr mit Wasser an, das mit heftigen Stößen aus der Mitte hervorbrach und in schäumender Wuth an den Wänden des Schachtes emporschlug. Punkt 3 Uhr versiegten plötzlich jene beiden Quellen, Victoria und Augusta. Um 3 Uhr 8 Min. stand das Wasser 4 Ffs. hoch im Schacht; es hatte eine Temperatur von $33\frac{1}{2}^{\circ}$ R. Sieben Minuten später, um $3\frac{1}{4}$ Uhr war der Wasserstand schon 4 Ffs. höher und die Gewalt der Eruption hatte, wie es schien, ihren Höhepunkt erreicht. Der ganze obere Theil des Schachtes war mit Kohlensäure angefüllt, deren Temperatur mit 29° R. gemessen wurde. Auch über dem Erdboden erhielt sich in der Nähe noch eine niedrige Schicht des schweren Gases und ein unglückliches Wesen war seiner lebererstickenden Kraft bei einer der letzten Eruptionen bereits zum Opfer gefallen. Es war ein kleiner Hund, der zu Anfang der Eruption in der Nähe auf dem Boden eingeschlummert, aber nachher nicht mehr ins Leben zurückzubringen war. Die entfernteste Quelle, »der große Sprudel«, in einer Tiefe von 262 Ffs. erbohrt, zeigte, wie bei allen früheren Eruptionen, keinerlei Veränderung, auch als die eigentliche Katastrophe eingetreten war. Diese dauerte ungefähr eine halbe Stunde. In ungeheuren Massen stieg das heiße Wasser von der Mitte aus empor, es fiel zurück, und schäumende Brandung peitschte die Wellen des Schachtes. Dann folgte wohl ein kurzer Augenblick der Ruhe, aber wieder und wieder »spritzte der dampfende Gisch« oft über den Schacht hinaus empor. Plötzlich, um 3 Uhr 55 Min., war das gewaltige Schauspiel vorüber. »Wie ein Traumbild zerrinnt beim Erwachen des Morgens« sagt Sartorius von Waltershausen von der Beendigung der Eruptionen des Geisers auf Island, und wirklich stimmt in allen Erscheinungen diese neue Quelle des Ahrthales mit keiner andern vielleicht mehr überein, als mit jener altbekannten im rauen Norden. Der Wasserspiegel sank zuerst

plötzlich um 3 Ffs., dann allmählig bis zum alten Stande im Bassin. Während dessen stiegen allenthalben an den Wänden des Schachtes Gasbläschen empor; es war die zurückkehrende überschüssige Kohlensäure, die während der Eruption mit dem Wasser in das Gebirge gedrungen war.

Um das plötzliche Sinken des Niveaus nach den Eruptionen zu erklären, muß man bedenken, daß während derselben mindestens eben so viele Raumtheile freien Gases wie Wassers emporgeschleudert werden. Der untere Theil des Bohrloches ist alsdann nur theilweise mit Wasser erfüllt, im übrigen Raume hält das stets zuströmende Gas der darauf lastenden Wassersäule das Gleichgewicht. Mit dem Schlusse der Katastrophe aber hört dieser untere Gasdruck auf, und nun sinkt plötzlich das Wasser in den ganzen Raum des Bohrloches und der unterirdischen Spalten zurück.

Um 4 Uhr 2 Min. kehrten die Victoria und Augusta wieder. Eine halbe Stunde nachher war bei der neuen Quelle der Wasserspiegel bis in das gemauerte Bassin zurückgetreten. Auf dem Grunde des Schachtes war keine Anhäufung von Sand oder Steinen zu bemerken, und das Empordringen solch' fester Massen scheint somit, nachdem die ersten Eruptionen einmal die unterirdischen Spalten und das Bohrloch gesäubert haben, vorläufig eingestellt, vielleicht für immer beendet zu seyn.

Ob alle die angeführten Erscheinungen in ihrer jetzigen Großartigkeit verbleiben werden, wenn die Fassung bis über Tage fortgeführt ist, und so die Wasser auch bei temporär stärkerem Zudrang stets einen freien Abfluß haben, ob, mit anderen Worten, die Heftigkeit der Eruptionen nicht jetzt durch den Druck der Wassermasse im Bassin und Schachte sehr verstärkt werde, das bleibt der Erfahrung nächster Zeiten überlassen. Jedenfalls muß aber während der Katastrophe der Wasserzudrang ein ganz bedeutend stärkerer seyn, da jetzt bei dem sehr weiten Abflußcanal, in dem geräumigen, undicht verschalten Schachte noch ein so rasches Steigen der Fluth stattfindet. Von

wissenschaftlichem Interesse ist außer der merkwürdigen Einwirkung auf die benachbarten Quellen besonders das Intermittiren des Sprudels, welches außer am Geiser auf Island nur noch bei wenigen Quellen des Continents zu bemerken ist. Zur Erklärung dieser seltenen Erscheinung hat man besonders zwei Theorien aufgestellt. Nach der einen soll, wenn sich in unterirdischen Reservoirs über dem Wasserspiegel die Spannung der Gase so weit vermehrt hat, daß sie stärker ist, als der Druck der gegenlastenden Wassersäule, dann die letztere bis zur Ausgleichung des Druckes emporgehoben werden; es ist die Theorie des Heronsballs oder der Feuerspritze. Die andere Theorie ist in neuerer Zeit von Bunsen zur Erklärung der Geiser-Eruptionen aufgestellt worden. Er läßt von Zeit zu Zeit in den Canälen eine Wassersäule erwärmt werden, die sich dann durch ihre größere specifische Leichtigkeit hebt, und so erst dem unteren Wasser Gelegenheit zur Dampfbildung und zu Explosionen giebt, welche bis dahin wegen des Druckes der Wassersäule trotz der hohen Temperatur nicht möglich waren. Eine genauere Erklärung oder die Anwendung der Theorien auf den vorliegenden Fall kann nicht in der Absicht dieser Zeilen liegen. Bei der Unbekanntschaft mit dem Laufe und dem Zusammenhange der Mineralwasserquellen und den Gasaufsteigungen in den Spalten und Höhlungen der Tiefe würden speciellere Deutungen der sicheren Basis entbehren müssen.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, von wie großer Wichtigkeit dieser neue Quellenfund für den Aufschwung des jungen Bades ist. Der große Wasserreichtum und vor Allem die hohe Temperatur der neuen Quelle, die alle bisherigen um 2 bis 3° übertrifft, sind Momente, welche der Gesellschaft für die Gründung und Errichtung des Bades Neuenahr die günstigsten Aussichten eröffnen, und das neue seltene Naturschauspiel wird die Anziehungskraft verstärken, die auch bisher schon manchen gesunden Touristen zu dem schönen, reizend gelegenen Kurhause geführt hat.

XIV. Ueber einen zu Dhurmsalla in Indien gefallenen Aërolithen.

Hr. Dr. Charles Th. Jackson in Boston berichtet in den *Compt. rend. T. LIII, p. 1018* über einen am 14. Juli 1860 zu Dhurmsalla in Indien niedergefallenen Meteorstein, von dem ihm ein Stück zur Untersuchung übergeben ward. Der Fall dieses Steins bot den sehr sonderbaren Umstand dar, daß wiewohl die Masse entzündet und geschmolzen (*enflammée et fondue*) auf den Boden niederfiel, dennoch die gleich hernach aufgefundenen Stücke in der Hand *so kalt* waren, daß die Finger erstarrten. Dieß würde anzeigen, sagt Hr. J., daß der Meteorit in seinem Innern die intensive Kälte des planetarischen Raums (-50° C.) bewahrte, während er durch den Eintritt in die Erdatmosphäre auf seiner Oberfläche ins Glühen gerieth. Er wäre, wie Hr. Agassiz bemerkt, analog dem *gebackenen Eise* der chinesischen Köche.

Der Stein sieht übrigens genau so aus, wie der vor vielen Jahren zu Weston in Connecticut niedergefallene. Er ist granitgrau mit schwarzen Flecken von Meteoreisen, welches sich, wenn er zerrieben wird, mit einem Magnet ausziehen läßt und sehr nickelhaltig ist. Sein spezifisches Gewicht ist 3,456. Die Gangmasse ist ein, dem amorphen Olivin ähnliches Silicat, dessen Base hauptsächlich aus Magnesia besteht.

1 Grm. des Steins, analysirt, gab: 40 Kieselsäure, 26,6 Talkerde, 27,7 Eisenoxyd, 0,4 Thonerde, 3,5 metallisches Eisen und 0,8 metallisches Nickel.

Die gesammte Menge des erhaltenen Eisenoxysds betrug 33 Proc. und davon wurde, in Form von Eisenoxyd, das mit dem Magnet ausgezogene Meteoreisen abgezogen.

XV. *Zusammenhang zwischen Erdbeben und magnetischen Störungen;*
von Dr. J. Lamont.

Da der Zusammenhang des Erdmagnetismus mit den Erdbeben noch immer zu den ungenügend ermittelten Verhältnissen gehört, so wird es nicht unzweckmässig erscheinen, wenn ich hier eine darauf bezügliche Thatsache mittheile. Am 26. December 1861, als ich um 8 Uhr Morgens den Stand der magnetischen Instrumente aufzeichnete (wovon im magnetischen Observatorium sechs aufgestellt sind, nämlich zwei für Declination, zwei für Intensität und zwei für Inclination), bemerkte ich an sämtlichen Instrumenten eine ungewöhnliche Unruhe, bestehend darin, dass der Stand schnell und unregelmässig um mehrere Theilstriche zu- und wieder abnahm, und zugleich ein Zittern in verticaler Richtung eintrat. Das Zittern der Nadeln hielt nur kurze Zeit an, die schnellen Aenderungen des Standes aber dauerten, allmählich an Heftigkeit nachlassend, bis gegen 8½ Uhr fort. Einige Tage später traf die Nachricht ein, dass genau mit obiger Beobachtung gleichzeitig ein Erdbeben an verschiedenen Punkten Griechenland's grosse Verwüstungen angerichtet hatte.

Hiemit ist neuerdings festgestellt, dass nicht blofs die Erschütterungen, welche ein Erdbeben hervorbringt, auf grosse Entfernungen sich verbreiten, sondern auch die Kräfte, welche das Erdbeben erzeugen, zugleich den Magnetismus der Erde in gewissem Grade modificiren. Die Modification besteht ohne Zweifel darin, dass ein *Erdstrom hervorgerufen wird*, was sich auch im obigen Falle insofern bestätigt hat, als die an der hiesigen Sternwarte aufgestellten Erdstromvorrichtungen zur angegebenen Zeit ungewöhnlich grosse Thätigkeit zeigten.

Sehr bemerkenswerth ist, dass das Erdbeben, welches in Griechenland am 18. April 1842 stattfand (Annal. für Meteorol. und Erdmag. 1842, II. Heft, S. 188) an den Magnetenadeln in München eine ähnliche Wirkung hervorgebracht hat, während von anderen oft in geringerer Entfernung vorgekommenen Erdbeben bisher keine Wirkung wahrgenommen worden ist.